

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»**  
**ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»**  
**Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания»**  
**Акционерное общество «Соликамскбумпром»**  
**ООО «Красный Октябрь»**



**Красный Октябрь**

## **ИННОВАЦИИ – ОСНОВА РАЗВИТИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ И ЛЕСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Сборник материалов VI Всероссийской отраслевой  
научно-практической конференции**  
**«ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ И ЛЕСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ»**  
**Екатеринбург, 23-24 марта 2018 г.**



**Екатеринбург  
2018**

УДК 676: 674/ 630

ББК 34:43

И665

- И665      Инновации – основа развития целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности: [Электронный ресурс]: матер. VI Всерос. отраслевой науч.-практ. конф. «Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности» – 23-24 марта 2018 г. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2018. – 19,3 Мб. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Мин. системные требования: IBM Intel Celeron 1,3 ГГц; Microsoft Windows XP SP3; Видеосистема Intel HD Graphics; дисковод, мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978–5–94984–679–7

Отражены основные результаты теоретических и прикладных разработок, перспективных исследований ученых и специалистов в области эффективных ресурсосберегающих технологий, экологии, эксплуатации технологического оборудования, сырьевого обеспечения предприятий целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности. Представлен инновационный опыт образовательных учреждений и предприятий ЦБП в подготовке квалифицированных кадров для отрасли.

Подписано к использованию редакционно-издательским советом Уральского государственного лесотехнического университета.

УДК 676: 674/630

ББК 34:43

Редакционная коллегия

Е.А. Глезман, канд. экон. наук, исп. директор ГП ПЦБК, Е.П. Писоцкая, директор по персоналу АО «Соликамскбумпром», Н.В. Куцубина, канд. техн. наук, зав. базовой кафедрой УГЛТУ в АО «Соликамскбумпром», А.А. Санников, д-р техн. наук, профессор УГЛТУ; А.В. Вураско, д-р техн. наук, зав. кафедрой УГЛТУ; В.П. Сиваков, д-р техн. наук, профессор УГЛТУ; Е.Р. Мошев, д-р техн. наук, зав. кафедрой ПНИПУ; А.С. Попов, канд. техн. наук, доцент УГЛТУ; М.В. Газеев, д-р техн. наук, доцент УГЛТУ

Ответственные за выпуск – Н.В. Куцубина, В.В. Васильев

ISBN 978–5–94984–679–7

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный  
лесотехнический университет», 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

О конференции.....	7
<hr/>	
<b>Наука – производству.</b>	
<b>Рециклинг и утилизация промышленных отходов.</b>	
<b>Инновационные технологии в ЦБП и лесопереработке</b>	
<hr/>	
<b>Липунов И.Н., Первова И.Г.</b> Рециклинг промышленных отходов - важная доминанта прогресса XXI века .....	9
<b>Купчинская Е.В., Шушкова М.Г.</b> Переработка осадков сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности .....	16
<b>Маслакова Т.И., Первова И.Г., Маслаков П.А., Алешина Л.В., Вураско А.В., Симонова Е.И.</b> Исследование применения технической целлюлозы для разработки тест-систем контроля качества вод .....	19
<b>Агеев М.А.</b> Способ определения среднего радиуса пор бумаги .....	23
<b>Арсеньева Д.Ю., Казаков Я.В., Окулова Е.О.</b> Особенности получения целлюлозы из костры льна методом пероксидно-ацетатной варки .....	27
<b>Бойкова Т.Е., Богданович Н.И., Мауричева Т.С.</b> Математическая модель процесса коагуляции в условиях низких температур .....	31
<b>Вихарев С.Н.</b> Исследование процесса размола волокнистых полуфабрикатов в ножевых машинах .....	37
<b>Вураско А.В., Симонова Е.И., Минакова А.Р., Полиенко К.С.</b> Получение сорбционных материалов на основе технической целлюлозы из соломы и шелухи риса .....	41
<b>Ибраева Ж.Е., Мырзабекова Н.Е., Калдыбаева А.Д.</b> Перспективы использования стабилизированных полимерами наночастиц серебра и золота для модификации поверхности бумаги .....	48
<b>Ковернинский И.Н.</b> Исследование адсорбции заряженных частиц оборотной воды макулатурным волокном .....	53
<b>Михайлова О.С., Крякунова Е.В., Канарский А.В., Казаков Я.В., Дулькин Д.А., Романова А.Н.</b> Влияние амилалитических ферментов и способа пропитки на прочностные характеристики картона .....	56
<b>Алашкевич Ю.Д., Пен Р.З., Марченко Р.А., Каретникова Н.В., Чендылова Л.В.</b> Рафинерная механическая масса из льняной костры: свойства и области применения..	62
<b>Хакимова Ф.Х., Хакимов Р.Р., Шевелева С.А., Серебряков О.С.</b> Обессмоливание лиственной сульфатной целлюлозы на стадии варки .....	66
<b>Шкуро А.Е., Кривоногов П.С.</b> Исследование возможности получения древесно-полимерных композитов с гидролизным лигнином .....	73
<b>Кулаженко Ю.М., Шкуро А.Е., Кривоногов П.С.</b> Исследование прививки карданола к полиэтилену низкого давления методом механохимической активации ...	78
<b>Шушкова М.Г., Ширинкина Е.С.</b> Утилизация полимерных отходов целлюлозно-бумажной промышленности на примере отработанных полиэфирных сеток бумагоделательных машин .....	82
<b>Носкова О.А., Мизев А.Н., Сунцев П.Р.</b> Исследование возможности получения порошковой целлюлозы из древесных опилок .....	86
<b>Пантелеева В.А.</b> Получение термомеханической массы при использовании осинового дерева и ее влияние на качество продукции АО «Соликамскбумпром»..	93
<b>Хоанг Минь Кхоа, Масленникова А.А., Казаков Я.В.</b> Ресурсы, распространение, свойства и использование бамбука во Вьетнаме .....	98

<b>Чашухина А.С., Идиатуллин А.М., Житнюк В.А., Авагимян А.Н., Смышляева Е.Г.</b> Пшеничный крахмал как альтернатива кукурузному .....	103
<b>Захаров И.В., Канарский А.В., Захарова Н.Л., Окулова Е.О., Казаков Я.В.</b> Влияние пропитки картона материалами растительного и животного происхождения на физико-механические и деформационные характеристики .....	109
<b>Романова А.Н., Казаков Я.В., Малков А.В.</b> Неоднородность деформирования макулатурного картона топ-лайнера .....	112
<b>Кашина М.О., Житнюк В.А., Идиатуллин А.М., Белкина Е.В.</b> Исследования структуры скопа очистных сооружений с целью последующей рекуперации .....	118
<b>Галимзянова А.Р., Казаков Я.В., Лавров И.В.</b> О взаимосвязи неразрушающих и прочностных характеристик тестлайнера .....	124
<b>Круглов Д.А., Артемов А.В., Савиновских А.В., Бурындин В.Г.</b> Древесный пластик без связующего на основе лигнина как отхода целлюлозно-бумажной промышленности .....	130

---

**Сервис и техническая эксплуатация оборудования целлюлозно-бумажных производств. Комплексное решение задач модернизации бумагоделательных и картоноделательных машин**

---

<b>Санников А.А., Куцубина Н.В.</b> Роль диагностики в совершенствовании технической эксплуатации бумагоделательного оборудования .....	136
<b>Сушко А.Е.</b> Комплексный мониторинг и диагностика технического состояния технологических машин и оборудования .....	140
<b>Буторин С.М.</b> Применение полимерных материалов при технической эксплуатации оборудования целлюлозно-бумажных производств .....	144
<b>Ягуткин В.А., Илюшин В.В., Тютнев А.А.</b> Вторую жизнь гранитному прессовому валу .....	147
<b>Шустов А.В.</b> Применение современных технологий термической обработки в ремонтном производстве на предприятиях лесного комплекса .....	150
<b>Пантелеев В.Н., Куцубина Н.В.</b> Повышение эффективности технической эксплуатации трубчатых валов бумагоделательных машин .....	152
<b>Парфенова В.Р., Микушина В.Н., Сиваков В.П.</b> Метод обеспечения температурного режима циркуляционной смазки подшипников сушильной части .....	157
<b>Сиваков В.П., Степанова Е.Н.</b> Влияние массы и агрегатного состояния сырья на собственные частоты колебаний варочного котла .....	161
<b>Захезин А.М., Колосова О.П., Иванов Д.Ю., Пакулев М.В., Перкина А.А., Рыбин В.А.</b> Диагностика усталостной трещины в роторной системе статистическими методами .....	165
<b>Куцубина Н.В., Васильев В.В.</b> Из практики анализа технического состояния сушильных частей бумагоделательных машин .....	171
<b>Санников А.А., Носков И.Б., Васильев В.В., Куцубина Н.В.</b> Модернизация и диагностика бумагоделательной машины на небольших предприятиях .....	176
<b>Захватаев Е.О., Романов О.Е.</b> Модернизация системы подачи химикатов на БДМ7 ООО «ЦБК «КАМА». Оценка экономической эффективности .....	179
<b>Пономарев Н.Ю., Широков А.А.</b> Модернизация автоматизированной системы управления канализационной насосной станцией .....	184
<b>Старжинский В.Н., Совина С.В.</b> Теоретические и прикладные аспекты производственного шума на предприятиях ЦБП .....	186
<b>Костарев С.Н., Серeda Т.Г.</b> Моделирование процессов повышения производительности труда и снижения травматизма на лесоперерабатывающих предприятиях .....	189



## Цифровые технологии в ЦБП

<b>Мошев Е.Р., Виноградов Ю.О.</b> Электронная паспортизация оборудования как условие эффективной работы служб технического надзора целлюлозно-бумажных производств .....	195
<b>Исаков С.Н.</b> Гидродинамические процессы в массоподводящих системах бумагоделательных машин .....	200
<b>Гончаров А.А., Исаков С.Н.</b> Моделирование трибологической системы «сальник-вал» .....	206
<b>Вассин Г.Ю., Исаков С.Н.</b> Гидродинамический расчет перфорированной плиты гасителя пульсации бумажной массы .....	212
<b>Тарасов Д.А.</b> Исследование оптических характеристик бумаги в зависимости от ее элементного состава .....	218
<b>Арефьева А.В., Петроченков А.Б.</b> Разработка системы диспетчеризации автоматической промывки подачи жидких химикатов на целлюлозно-бумажном предприятии .....	225

## Вопросы рационального лесопользования, сохранения и облагораживания древесных материалов. Сырьевое обеспечение предприятий ЦБП и лесопереработки

<b>Прядилина Н.К.</b> Невостребованность лесных планов субъектов РФ как инструмента лесопользования .....	232
<b>Иванчина Л.А., Залесов С.В.</b> Усыхание ельников Прикамья .....	236
<b>Якимович С.Б., Ефимов Ю.В.</b> Оценка удельной энергоемкости заготовки сортиментов системами машин и харвестерных агрегатов различных производителей .....	239
<b>Газизов А.М., Гарбовский Д.А.</b> Проблемы гидротермической обработки сырья для производства лущеного шпона .....	244
<b>Чамеев В.В., Иванов В.В., Терентьев В.В.</b> Математическое описание затрат времени операции распиловки сырья на лесоперерабатывающих станках .....	247
<b>Санникова Д.А., Газеев М.В.</b> К вопросу крашения поверхности изделий из древесины .....	252
<b>Шишкина С.Б., Ветошкин Ю.И., Газеев М.В.</b> Формирование покрытия на древесине с рентгенозащитными свойствами .....	254

## Подготовка квалифицированных кадров для ЦБП и лесопереработки: экосистема партнерства. Эффективный менеджмент

<b>Куцубина Н.В., Васильев В.В., Борисова А.В.</b> Проект «Базовая кафедра УГЛТУ в АО «Соликамскбумпром» .....	260
<b>Нелюбина Т.А., Иванова М.В.</b> Формирование интереса учащихся к работе в отрасли целлюлозно-бумажной промышленности с учетом инновационной восприимчивости социально-экономических систем .....	264
<b>Куцубина Н.В., Васильев В.В., Подковыркина О.М., Горбатенко Ю.А.</b> Инженер леса XXI века: 3D - инженер для ЦБП .....	268
<b>Холоткова Н.А.</b> Совершенствование профориентационной работы муниципального автономного образовательного учреждения дополнительного образования «Центр образования и профессиональной ориентации» .....	272

<b>Медведева Е.В.</b> Участие муниципального автономного образовательного учреждения «Средняя образовательная школа № 2 имени Ж.И. Алферова» в реализации программы «Уральская инженерная школа» .....	277
<b>Новикова Н.В.</b> Из опыта работы Соликамского технологического колледжа в профессиональном самоопределении школьников .....	282
<b>Капустина Ю.А., Ростовская Ю.Н., Долженко Л.М., Стариков Е.Н.</b> Развитие кадрового потенциала – условие обеспечения экономической безопасности региона ..	285
<b>Агафонова Г.В., Баранов Д.С.</b> Конструкция кровель для устройства объектов ландшафтной архитектуры в условиях Среднего Урала .....	291

## О КОНФЕРЕНЦИИ

**VI Всероссийская отраслевая научно-практическая конференция специалистов, ученых, представителей власти, бизнеса и образования, обучающихся «ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ И ЛЕСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»** состоялась 23-24 марта 2018 года в г. Екатеринбурге.

**Учредители конференции:** ГП «Пермская целлюлозно-бумажная компания», АО «Соликамскбумпром», ООО «Красный Октябрь», ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ), ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛТУ).

**Оказали поддержку проведению конференции:** ООО НПО «Уником-Сервис» (г. Первоуральск), ООО НПП «Диагностические технологии» (г. Москва).

**Тема конференции: «Инновации — основа развития целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности».**

**Цель конференции:** обмен опытом, внедрение перспективных инновационных идей и научных разработок в реальное производство, укрепление связей между учебными заведениями и предприятиями отрасли в подготовке инженерных кадров.

**Участники конференции:** ученые, преподаватели и студенты 7 ведущих высших учебных заведений России, педагоги и учащиеся 5 школ - инновационных инженерных площадок, представители 48 российских и зарубежных предприятий, фирм, научно-производственных объединений лесного комплекса и смежных отраслей. Участники съехались из 27 городов и 9 регионов России, Вьетнама, Франции, Казахстана, всего более 400 чел.

**Место проведения:** ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», впервые выступивший в числе учредителей одного из самых масштабных и значимых мероприятий для предприятий ЦБП и лесопереработки Пермского края и Свердловской области.

В пленарной части Конференции, посвященной обсуждению стратегических направлений взаимодействия власти, бизнеса и отраслевой науки при решении проблем лесного комплекса, ЦБП, подготовки кадров для отрасли, выступили: **И.Ф. Зеленкин**, заместитель министра промышленности и





науки Свердловской области; **А.А. Колодин**, заместитель министра природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края; **А.В. Баранов**, директор группы компаний «Оргпром», член Общественно-делового совета по Приоритетной программе «Повышение производительности труда и поддержка занятости» при Правительстве Российской Федерации; **Я.В. Казаков**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Северного (Арктического) федерального университета; **Себастьян Ринс**, руководитель образовательного центра в области логистики и производств Высшей школы дерева (г. Нант).

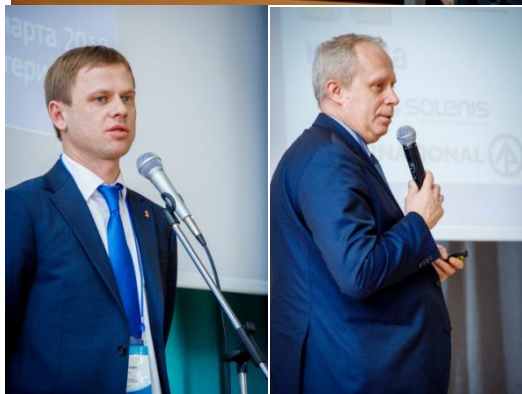
С приветственным словом к участникам Конференции обратились **Е.А. Глезман**, исполнительный директор Группы предприятий «ПЦБК», один из инициаторов и первых учредителей Конференции; **А.В. Мехренцев**, и.о. ректора УГЛТУ.

В рамках двухдневной работы Конференции состоялось 12 секционных заседаний. «Круглые столы-семинары» и секции были посвящены актуальным вопросам организации эффективной системы ТОиР, диагностики и модернизации оборудования отраслевых предприятий; инновационным технологиям в ЦБП, рециклингу и утилизации промышленных отходов; цифровым технологиям в ЦБП; проблемам сырьевого обеспечения предприятий ЦБП и лесопереработки; современным технологиям сохранения и облагораживания древесных материалов; подготовке кадров для ЦБП и др.

Особое внимание было уделено обсуждению опыта участия предприятий Пермского края во всероссийском пилотном проекте «Повышение производительности труда и поддержка занятости».



Сайт Конференции <http://cbp.pstu.ru>



**НАУКА – ПРОИЗВОДСТВУ.  
РЕЦИКЛИНГ И УТИЛИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ.  
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЦБП И ЛЕСОПЕРЕРАБОТКЕ**

---

УДК 504.064.4

**РЕЦИКЛИНГ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ –  
ВАЖНЕЙШАЯ ДОМИНАНТА ПРОГРЕССА XXI ВЕКА**

**Липунов Игорь Николаевич,  
канд. хим. наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [biosphera@usfeu.ru](mailto:biosphera@usfeu.ru)**

**Первова Инна Геннадьевна,  
д-р хим. наук, заведующая кафедрой,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [biosphera@usfeu.ru](mailto:biosphera@usfeu.ru)**

***Ключевые слова:** рециклинг, ресурсосбережение, технологический модуль рециклинга промышленных отходов.*

***Аннотация.** Разработана концептуальная схема структурной системы производственного рециклинга внутри- и межотраслевого характера, которая прошла апробацию при разработке технологического модуля рециклинга отдельного вида промышленного отхода.*

**INDUSTRIAL WASTE RECYCLING – THE MOST IMPORTANT CONCEPT  
OF THE TECHNOLOGICAL PROGRESS IN THE XXI CENTURY**

**Lipunov Igor Nikolaevich,  
Ph.D. of Chemical Sciences, professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [biosphera@usfeu.ru](mailto:biosphera@usfeu.ru)**

**Pervova Inna Gennadievna,  
holder of an Advanced Doctorate in Chemical Sciences, head of the Department,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [biosphera@usfeu.ru](mailto:biosphera@usfeu.ru)**

***Key words:** recycling, resource saving, technological module of industrial waste recycling.*

***Abstract.** The conceptual scheme of structural system for intra- and inter-branch production recycling was developed. This scheme was tested while creating of recycling technological module for specific type of industrial waste.*

Проблема, связанная с разработкой принципов управления отходами производства и потребления в нашей стране, является одной из ключевых экологических проблем. Образование отходов оценивается порядка 4 млрд т в год, в том числе промышленных отходов – 2,6 млрд т/год. Свыше 30 млрд тонн отходов накоплено в результате прошлой хозяйственной деятельности. Анализ ситуации обращения с отходами в России показывает, что коэффициент использования отходов в качестве вторичного сырья в 2 – 2,5 раза ниже, чем аналогичный показатель в развитых странах мира. Использованию и обезвреживанию подвергается не более 39 % от общего количества образующихся твердых отходов.

В течение последних 10 лет (2003 – 2013 гг.) их количество увеличилось в 2 раза. Это привело к тому, что количество отходов, размещаемых на полигонах, возросло с 67 % (2003 г.) до 95 % (2013 г.) [1]. В результате низкого уровня использования отходов в качестве вторичного сырья продолжается их накопление в природной среде в виде техногенных месторождений.

Современный рециклинг – процесс промышленной переработки отходов производства и потребления с целью получения полупродуктов, продуктов или вторичного сырья – является быстро развивающейся динамичной областью ресурсосбережения в странах Евросоюза и Азии (Япония, Китай). Движущей силой развития рециклинга является все возрастающий дефицит природных ресурсов и обострение экологических аспектов проблемы отходов. Мировая тенденция сводится к трем основным направлениям решения проблемы отходов: сокращение потребления ресурсов; минимизация образования отходов; максимизация рециклинга, как основного процесса ресурсосбережения [2]. Таким образом, рециклинг отходов производства и потребления становится одной из доминант прогресса XXI века.

Разработанные и принятые к реализации в нашей стране "Основы государственной стратегии в области экологической безопасности на период до 2025 года" предусматривают при решении задачи обеспечения экологически безопасного обращения с отходами использование ряда механизмов, в том числе «... использование образовавшихся отходов путем переработки, регенерации, рекуперации, рециклинга». Одновременно стратегия ориентирует на «... поэтапное введение запрета на захоронение отходов, которые могут быть использованы в качестве вторичного сырья». Однако, темпы развития рециклинга в нашей стране значительно ниже, чем в странах Евросоюза, которые в конце XX столетия, начав разработку концептуальных и теоретических основ этого процесса, в начале XXI века приступили к его практической реализации.

Основные причины такого положения заключаются, во-первых, в том, что государственная политика в области обращения с отходами производства и потребления страдает инертностью и отсутствием креатива в разработке стратегии управления отходами, направленной на конечный результат, а во-вторых, отсутствие концептуальных и теоретических основ процесса рециклинга препятствуют его интенсивному развитию.

А потому, создание концептуальных основ управления отходами на разных уровнях иерархии и разработка гибких технологических модулей рециклинга отходов внутриотраслевого и/или межотраслевого характера является актуальной и своевременной необходимостью.

Это, в первую очередь, связано с тем, что техногенные месторождения, представляющие собой новый источник сырья, в отличие от природных, с одной стороны, обладают компактным размещением в зоне промышленных предприятий, что делает их более доступными и экономически выгодными для разработки. С другой стороны, техногенные ресурсы обладают сложным минералогическим и химическим составом, что требует проведения комплексного исследования их химического, фазового, радионуклидного состава, токсикологических и полезных свойств, а также разработки экологически безопасных, безотходных технологических процессов и высокотехнологичного оборудования их переработки.

В основу разработки структурной системы производственного рециклинга промышленных отходов нами положен циклоцентрический принцип (ЦЦП) обращения с отходами, как более прогрессивный и соответствующий главному требованию, предъявляемому к организации технологического цикла – обладать высокой степенью замкнутости, приближаясь к природному биологическому циклу.

В настоящее время существует два концептуальных подхода к решению проблемы отходов - отходоцентрический (ОЦП) и ЦЦП, отличающиеся уровнями иерархии управления отходами (рис. 1) [3].

ОЦП использует такие иерархические уровни обращения с отходами, конечным результатом которого является все возрастающее количество отходов и формирование техногенных месторождений.

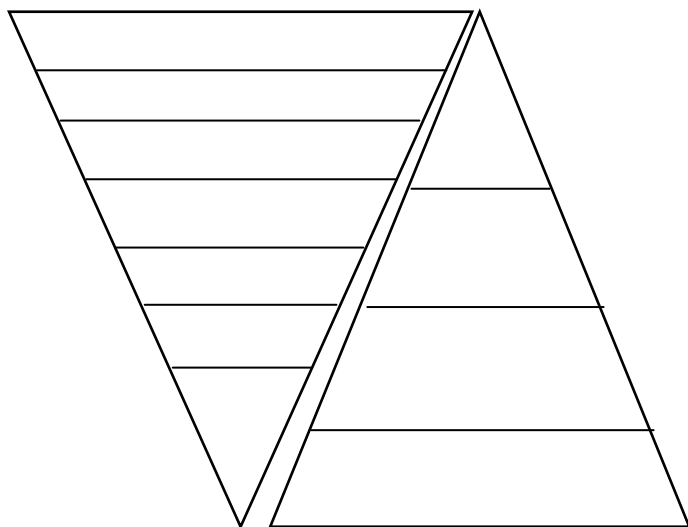


Рис. 1. Иерархия управления отходами на основе ОЦП и иерархия технических решений рециклинга на стадиях генезиса и трансформации отходов (ЦЦП)

Сущность ЦЦП заключается в том, что рециклинг есть сеть циклов, в которых материальный поток меняет параметры и статус в замкнутой цепи состояний: «сырье → полупродукт → продукт (и отходы производства) → отходы потребления → вторичный ресурс → сырье». Уровнями иерархии ЦЦП являются повторное применение отхода по прямому назначению (*рециклинг*) – возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (*регенерация*) – извлечение полезных компонентов для повторного использования (*рекуперация*) – *обезвреживание* – *захоронение*.

Иерархия управления отходами в рамках ЦЦП предполагает четыре основных уровня, которые определяют все технические решения рециклинга отходов: от выбора эффективных методов и технологий рециклинга, высокотехнологичного оборудования, оптимизации конструктивных и технологических параметров процессов до разработки технологических модулей рециклинга и проектирования сетей рециклинга. Таким образом, «традиционное обращение с отходами» (ОЦП) трансформируется в управление циклами и сетями рециклинга.

Циклообразующей стадией рециклинга являются процессы генезиса и трансформации отходов. Под генезисом отходов понимается последовательная смена стадий изменения характеристик качества отхода. Отходообразующими компонентами являются конкретные виды промышленных отходов, вовлекаемые в процесс техногенеза. Сетями рециклинга служат все материальные потоки контура рециклинга, а каналами – материальные потоки трансформации отходов.

Анализ литературных данных и собственный многолетний опыт авторов в области использования промышленных отходов в качестве техногенного сырья [4] послужили основой для разработки концептуальной схемы структурной системы производственного рециклинга промышленных отходов. Такая схема в виде основных элементов, характеризующихся соответствующими критериями, определяющими набор технологических и технических условий, лежащих в основе комплексной переработки отходов, представлен на рис. 2.

Основным элементом в структурной системе рециклинга являются промышленные отходы, вовлекаемые в рециклинг, характеризующиеся не только химическим составом и полезными свойствами, но и жизненным циклом и способностью каждого вида отхода к регенерации, поскольку промышленный отход, чаще всего, в исходном состоянии не представляет собой вторичный материальный ресурс, требуется подвергать его процессу регенерации.



Принцип комплексности использования техногенного сырья, который основан на максимальном извлечении всех полезных компонентов с последующей их утилизацией в полезные продукты производства или потребления, положен в основу выбора эффективного метода рециклинга.

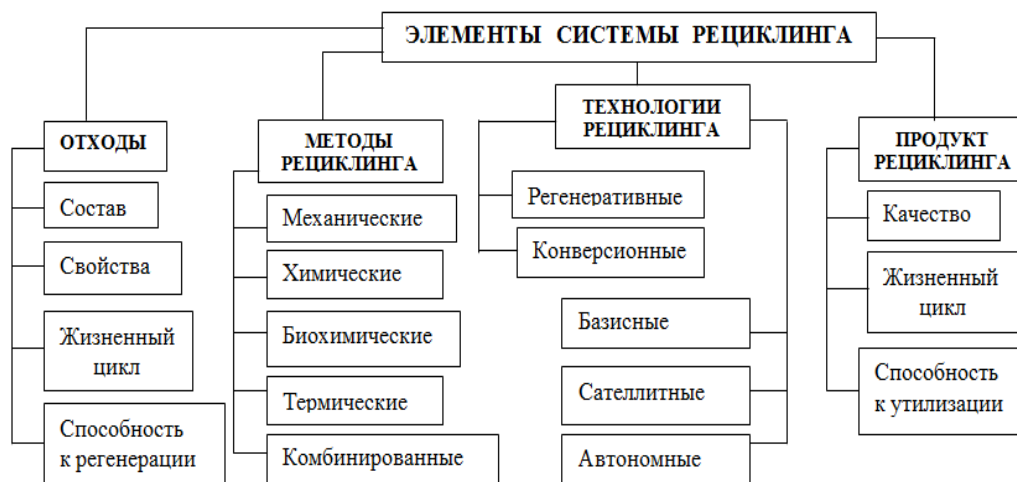


Рис. 2. Концептуальная схема структурной системы производственного рециклинга

Под технологиями рециклинга понимается организационное сочетание технологических процессов для создания замкнутых циклов в сетях рециклинга, которые должны разрабатываться, как и при переработке природного сырья, с учетом критериев их инженерного, экологического и экономического совершенства.

Наряду с традиционными механическими технологиями, которые классифицированы по физико-механическому признаку на технологии восстановления и дезинтеграции и химическими технологиями, классифицированными по физико-химическому принципу на регенеративные и конверсионные, в процессе рециклинга предложено также использовать технологии, которые классифицированы по генетическому признаку на базисные, сателлитные, автономные, гибридные и ассимиляционные технологии [3]. Генетический признак указывает причину создания и место реализации соответствующей технологии.

Например, базисные технологии способны вовлекать в переработку наряду с основным сырьем отходы извне, не проводя реконструкции основного производства. Сателлитные технологии дополняют базисные в том случае, когда переработка отходов интегрируется в специфическую часть производственного процесса и является продолжением основной технологии. Автономные технологии создаются исключительно для решения проблемы отходов и являются альтернативой депонированию или обезвреживанию отходов.

Структурная система рециклинга ориентирована на использование регенеративных и конверсионных, а также базисных, сателлитных и автономных технологий. Регенеративные и конверсионные технологии могут быть эффективно использованы в контурах регенерации, рекуперации и утилизации сети рециклинга отходов. Технологии физико-механического признака не введены нами в структурную систему рециклинга, поскольку регенеративные технологии (технологии восстановления) могут быть основаны на процессах трансформации как механической, так и химической природы. Важнейшим техническим условием такой структурной системы является высокотехнологичное процессно-аппаратурное оформление сетей рециклинга.

Продукт рециклинга должен быть экологически безопасен, обладать качественно новыми полезными свойствами или свойствами аналога, получаемого из природного сырья, высоким жизненным циклом и способностью к утилизации, что и будут определять области его применения.

Предложенная концептуальная схема может служить методологией для разработки технологического модуля производственного рециклинга не только совокупности отходов различных промышленных производств (межотраслевой рециклинг), но и для отдельно взятого вида отхода (внутриотраслевой рециклинг). Покажем практическую реализацию данного концептуального подхода на примере разработанного нами технологического модуля производственного рециклинга одного из промышленных отходов.

Производства строительного материала из древесно-минерального композита, получаемого на основе мягких древесных отходов (наполнитель) и каустического магнезита (минеральное вяжущее) в середине 90-х годов XX столетия становятся нерентабельными в связи с высокой стоимостью связующего.

Альтернативой природному сырью, используемому для производства каустического магнезита, найдено техногенное сырье – магнийсодержащие отходы, образующиеся в производстве металлического магния электролизом расплава карналлита. Опуская подробности проведения комплексных исследований данного вида отхода, выделим только главное.

Магнезиальные вяжущие материалы, содержащие в своем составе химически активный оксид магния ( $MgO$ ), способны при взаимодействии с растворами хлорида магния ( $MgCl_2$ ) давать магнезиальное тесто, которое твердеет на воздухе за счет образования кристаллогидратных структур, образуя цемент Сореля. Такие вяжущие используются для получения композиционных материалов, в которых наполнителем могут служить различные полимерные материалы органической или минеральной природы.

Проведен комплекс исследований химического, фазового, радиоактивного состава шлама, его вяжущих свойств, токсикологии. Определены физико-механические характеристики лабораторных образцов, полученных из магнезиального теста на основе шлама, разработаны составы композиционных смесей для изготовления строительных и тепло – и звукоизолирующих материалов и отработаны оптимальные параметры процессов их получения. Разработаны и согласованы Технические условия «Магнезиальный порошок вяжущий (МПВ) на основе шлама карналлитовых хлораторов» [5].

Разработан гибкий технологический модуль производственного рециклинга шлама внутриотраслевого характера с получением МПВ и другой высоколиквидной продукции (рис. 3).

Фундаментальная иерархия изменением статуса материального потока в технологическом цикле производства магния показана следующими техническими цепочками: «природный ресурс (карналлитовая порода) – *природное сырье* (обогащенный карналлит) – *продукция* (металлический магний) – *отход производства* (шлам) – *вторичный ресурс* (регенерированный шлам, он же один из продуктов рециклинга МПВ) – техногенное сырье».

Иерархический уровень технологических и технических решений рециклинга шлама включает выбор и обоснование эффективных методов и технологий рециклинга, высокотехнологичного оборудования, разработку систем получения высоколиквидной продукции и, наконец, технологического модуля рециклинга внутриотраслевого характера. Регенеративный контур (А) обеспечивает процесс восстановления шлама методами сухого дробления и измельчения в замкнутом цикле (размер кусков 30–200 мкм) до состояния технического продукта, который по своему химическому составу и свойствам является хлормагнезиальным вяжущим, использованным нами в производстве древесно-минеральных композитов.

Рекуперативный контур (Б) гибкого технологического модуля предназначен для дальнейшей переработки регенерированного шлама (вторичное сырье). Используя комбинированные (химические и термические) методы и конверсионные и сателлитные технологии, ценные компоненты шлама утилизированы в технический оксид магния и синтетический карналлит (табл. 1).

Оксид магния, как технический продукт, и может быть использован в различных отраслях экономики: в строительной индустрии, цветной металлургии, стекольной, керамической и атомной промышленности, а синтетический карналлит по качественному и количест-

венному химическому составу является вполне доступным техногенным сырьем для производства металлического магния (табл. 2).

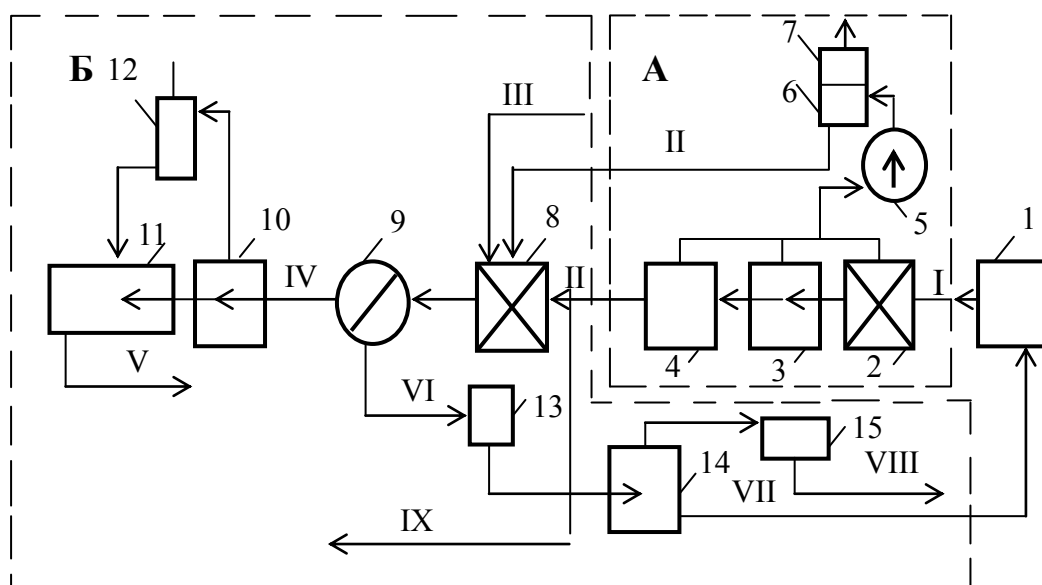


Рис. 3. Технологический модуль рециклинга ШКХ: 1 – цех производства магния; 2 – дробилка; 3 – шаровая мельница; 4 – классификатор; 5 – вентилятор; 6 – циклон; 7 – рукавный фильтр; 8 – реактор; 9 – вакуум-фильтр; 10 – сушилка; 11 – печь прокаливания; 12 – циклон; 13 – сборник фильтрата; 14 – выпарной аппарат; 15 – конденсатор. Потоки: I – отход; II – вторичный ресурс; III – вода; IV – осадок; V – продукт (технический MgO); VI – фильтрат; VII – техногенное сырье (синтетический карналлит); VIII – конденсат; IX – МПВ. Контуры рециклинга: А – регенеративный; Б – рекуперативный с последующей утилизацией ценных компонентов

Таблица 1

Состав и массовый выход продуктов рекуперации шлама

Продукт	Выход, мас. %	Химический состав, мас. %					
		MgO	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	KCl·MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	KCl	NaCl
Оксид магния	40,2	97,6	1,6	0,8	Не определено		
Синтетический карналлит	59,8	Не определено			86,7	7,0	6,3

Таблица 2

Химический состав сырья, используемого для производства магния

Сырье	Содержание основных компонентов, мас. %				
	MgCl <sub>2</sub>	KCl	NaCl	H <sub>2</sub> O	MgO
Карналлитовая порода Верхнекамского месторождения	22-24	19-20	20-22	28-30	Отсутствует
Обогащенный (искусственный) карналлит	31-32	25-26	5-6	34-35	Отсутствует
Синтетический карналлит (хлормagneзиевый раствор)	27-29	24-25	3-8	31-34	Отсутствует
Шлам карналлитовых хлораторов	24-32	9-11	2-3	13-14	36-42

Таким образом, такой технологический модуль может быть интегрирован в специфическую часть производственного комплекса и служить продолжением технологического процесса основного производства.

Техногенный цикл материального потока в контуре рециклинга шлама магниевого производства с замкнутым циклом показан на рис. 4, где отходообразующими компонентами являются шламы магниевого производства, циклообразующей стадией рециклинга – процессы генезиса и трансформации шлама, каналами рециклинга – материальные потоки трансформации отхода ( $R_1$ – $R_6$ ).

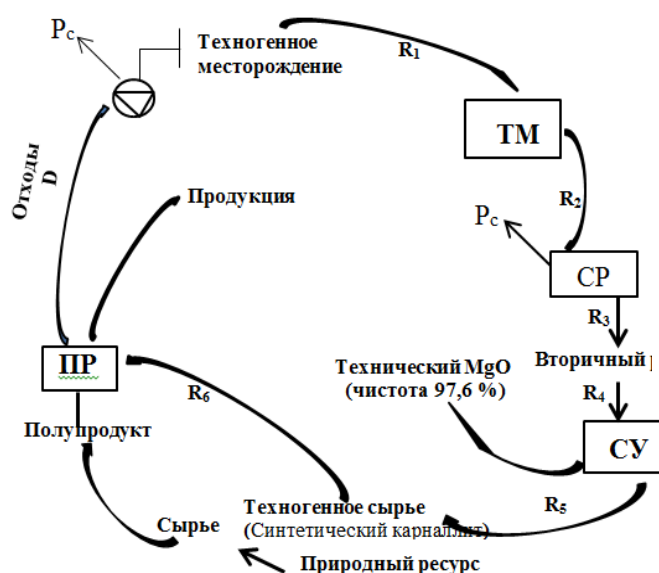


Рис. 4. Техногенный цикл материального потока в контуре рециклинга шлама магниевого производства

### Список литературы

1. Леонова Л.Б. Концептуальные и экономические основы стратегического управления твердыми отходами производства и потребления. Современные исследования социальных проблем (электронный научный журнал), № 9(53), 2015. [www.sisp.nkras.ru](http://www.sisp.nkras.ru)
2. Мюррей, Р. Цель - Zero Waste. [Текст]. / Р. Мюррей; перевод с англ. М.: ОМННО «Совет Гринпис», 2004. 232 с.
3. Гладышев Н.Г. Обращение с отходами. Организационно-технические решения // Экология и промышленность России. Сентябрь. 2007. С. 28-31.
4. Липунов И.Н. К вопросу о рециклинге промышленных отходов /И.Н. Липунов, И.Г. Перова, И.В. Николаев // Экология и промышленность России, 2015. Т. 19. № 4. С. 24-29.
5. Липунов И.Н. Композиционные материалы на основе техногенного сырья: физико-химические основы, разработка, освоение технологий и оборудования: монография / И.Н. Липунов. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 159 с.

УДК 676.08

## ПЕРЕРАБОТКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Купчинская Елена Вячеславовна,  
канд. хим. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [biosphera@usfeu.ru](mailto:biosphera@usfeu.ru)

Шушкова Марина Геннадьевна,  
магистрант, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [shushkovam@gmail.com](mailto:shushkovam@gmail.com)

**Ключевые слова:** осадки, сточные воды, целлюлозно-бумажная промышленность, вермикомпостирование.

**Аннотация.** Для переработки осадков, образующихся в процессе очистки сточных вод целлюлозно-бумажного производства, предлагается использовать метод вермикомпостирования. Данный метод обеспечивает как экономический, так и экологический эффект.

## SEWAGE WATER WASTE RECYCLING IN PULP AND PAPER INDUSTRY

Kupchinskaya Elena Vyacheslavovna,  
Ph.D. of Chemical Sciences, Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [biosphera@usfeu.ru](mailto:biosphera@usfeu.ru)

Shushkova Marina Gennadievna,  
second year master student, Perm national research polytechnic university,  
Perm, E-mail: [shushkovam@gmail.com](mailto:shushkovam@gmail.com)

**Key words:** waste, sewage water, pulp and paper industry, worm composting.

**Abstract.** For the waste recycling in the process of sewage purification in pulp and paper industry, it is proposed to use the method of worm composting. This method provides both economic and environmental benefits.

На сегодняшний день вопрос очистки сточных вод предприятий целлюлозно-бумажной промышленности является одним из самых проблематичных, так как стоки содержат большое количество взвешенных мелкодисперсных частиц и органических веществ. Очистка сточных вод производства целлюлозы осуществляется обычно комбинированным способом, включающим механическую и биологическую очистку. В процессе очистки сточных вод образуется два основных вида осадков: скоп - осадок первичных отстойников, который в основном представляет собой мелкое волокно и избыточный активный ил, который образуется в процессе биологической очистки.

Количество этих осадков весьма значительно и составляет десятки тысяч тонн в сутки. Данные осадки имеют высокую влажность обычно более 95%. Поэтому начальным этапом их переработки является обезвоживание. Обезвоживание обычно проводят в несколько этапов: на первом - используют илоуплотнители, которые позволяют при наименьших затратах уменьшить объем осадков в несколько раз. Для более глубокого обезвоживания применяют фильтр-прессы, шнек-прессы, центрифуги, которые позволяют получить продукт с влажностью 60-80%.

Однако обезвоживание не решает основной задачи – утилизации или уничтожения этих осадков. Для этого в настоящее время возможно использование целого ряда методов:

- получение материалов для строительной промышленности – на предприятиях ЦБП волокносодержащие осадки можно использовать в производстве волокнистых, древесноволокнистых и древесностружечных плит. Эти же осадки можно использовать в производстве сухой штукатурки, кирпича, легких бетонных плит, аглопорита, теплоизоляционных материалов;

- использование осадков сточных вод как сырья для собственного производства. Избыточный активный ил можно использовать в производстве картона, мешочной бумаги, целлюлозы;

- пиролиз активного ила позволяет получить активированный уголь для использования его как сорбента или в качестве полупродукта для лечебных целей;

- производство удобрений – предусматриваются все случаи использования осадков как удобрения при соответствии состава их техническим условиям. Осадки могут с успехом применяться для улучшения структуры и плодородия торфяных и песчаных почв, а также для рекультивации земель;

- использование в качестве топлива. В случаях, когда эти отходы содержат в себе в значительных количествах балластные или другие мешающие вещества, избыточную влагу, другие крупные включения, которые затрудняют процесс термической утилизации, проводится подготовка этих отходов в виде подсушивания, измельчения и др.

Перспективным направлением эффективного использования осадка с первичных отстойников (скопа) и избыточного активного ила может быть применение метода вермикомпостирования, позволяющего в короткий срок переработать значительные количества отходов и получить ценные товарные продукты: биогумус и биомассу.

Дождевые черви в развитых странах используются преимущественно для переработки сельскохозяйственных и бытовых отходов. Эффективность процесса деструкции отходов ЦБП в большой степени зависит от вида червей, который используется в технологии. Черви-деструктанты должны быть неприхотливы, устойчивы к заболеваниям и физико-химическим воздействиям, легко адаптироваться к перерабатываемому субстрату и быстро его разлагать. Известен вид червей, специально выведенный для утилизации городских и сельскохозяйственных отходов - красный калифорнийский червь (красный калифорнийский гибрид) - *Eisenia foetida red hybrid*.

Однако проведенными исследованиями установлено: калифорнийский червь медленно адаптируется к отходам ЦБП, вяло питается, плохо размножается, в результате чего скорость деструкции отходов резко снижается [1].

С целью интенсификации процесса переработки отходов ЦБП была проведена работа по выведению промышленной линии червей, для чего исследовали природные популяции дождевых червей, обитающих на короотвалах и древесных отвалах ЦБП. Природная популяция червей состояла из двух видов - червь навозный (*Eisenia foetida*) и малый красный червь (*Lumbricus rubellus*). Для дальнейших исследований были отобраны навозные черви, как более распространенные и выносливые [1].

Известны несколько основных технологических схем вермикомпостирования – ящичные, вермиконтейнерные, буртовые, траншейные и вермиреакторные, которые различаются между собой по ряду показателей: экономических (капитальных и эксплуатационных затрат), экологических (необходимость организации санитарно-защитных зон, наличия выбросов, сбросов и размещения в окружающей среде остатков не утилизируемых отходов); соотношением затрат ручного и квалифицированного труда; сезонным или постоянным характером работы; возможностью использования высокопроизводительных установок и устройств.

Все технологические схемы вермикомпостирования включают следующие основные процессы: подготовки отходов; подбора вермикультуры, технических устройств и оборудования; рабочего технологического режима; контроля качества получаемых целевых продуктов; подготовки биогумуса и биомассы для реализации.

Достаточно широко применяется траншейный метод вермикомпостирования. Он имеет ряд преимуществ перед буртовым: снижение теплотерь из-за заглубления траншеи в землю, уменьшает испаряемость влаги, защищает от неблагоприятного воздействия ветра. Недостаток: необходимость выбора площадки с низким стоянием грунтовых вод и выполнения гидроизоляции дна и бортов траншеи.

Общим недостатком траншейного и буртового методов является выраженный сезонный характер их использования (только в теплый период года), так как из-за короткого летнего периода деструкция отходов не успевает завершиться.

Важным недостатком этих методов является также возможность выедания червей кротами и землеройками. Поэтому требуется защита траншей и буртов от грызунов. При использовании ящичной технологии ее суть заключается в том, что предварительно массу отходов размещают в ящиках и др. емкостях, куда помещают маточную культуру червей и их коконы. Размеры ящиков зависят от объемов вермикомпостирования.

Преимущества данной технологии: экономическая доступность, привлечение низкооплачиваемого персонала, простота изготовления, отказ от дорогостоящих материалов, машин и механизмов.

В последние десятилетия прошлого века стали быстро развиваться вермиреакторные технологии переработки органических отходов в силу их явных преимуществ по сравнению с традиционно применяемыми технологиями вермикомпостирования.

Вермиреакторные технологии были разработаны на основе усовершенствования известных хорошо проверенных практикой вермилож, когда по мере переработки слоя отходов черви мигрируют из него вверх во вновь укладываемый слой свежих отходов, где у них появляется доступ к пище, израсходованной в переработанном слое.

Для обеспечения использования вермиреактора в периоды низких температур он должен подогреваться и теплоизолироваться для исключения теплотерь, либо располагаться в отапливаемом помещении.

Вермиреакторная установка работает следующим образом: перед загрузкой в установку отходы ЦБП смешивают с речным песком в соотношении 4:1. Влажность смеси доводят до 80% с помощью очищенной воды с очистных сооружений. Подготовленный субстрат загружают слоями. Толщина каждого слоя не должна превышать 1 м. Первоначальный объем загрузки составляет 2/3 объема рабочей зоны, что необходимо для перехода из дискретного режима работы в непрерывный. На поверхность каждого слоя субстрата через загрузочные окна вносят биомассу червей в количестве 6 кг.

После загрузки установки субстрат поливают водой. Следующие поливы осуществляют еженедельно. Процесс вермикомпостирования проводят, поддерживая оптимальные параметры процесса: температура воздуха 21-22<sup>0</sup>С, влажность субстрата – 80%, давление – атмосферное. Через месяц установку дозагружают свежеприготовленным субстратом, количество которого составляет половину от загруженного ранее. Через 10 дней после дозагрузки часть готового продукта (1/3 часть общего объема) выгружают.

Процесс выгрузки готового продукта и дозагрузки реактора свежим субстратом намеренно разделен по времени для того, чтобы дать возможность вермиккультуре переползти в верхние слои субстрата.

Проведенные расчеты показали, что использование вермиреактора объемом 20 м<sup>3</sup> позволит переработать за год около 300 т осадков ЦБП. Полученный данным способом биоугумус по содержанию токсичных веществ и санитарному состоянию полностью соответствует санитарным нормативам.

Производство биоугумуса экономически выгодно, так как и полученное высокоорганическое удобрение и биомасса червей могут использоваться предприятием для своих целей (рекультивация почв, лесовосстановление и др.), а также реализоваться населению и юридическим лицам (птицефабрики и др.).



Список литературы

1. Вайсман, Я.И. Компостирование твердых органических отходов производства и потребления. Вермикомпостирование: /Я.И. Вайсман. Пермь: Изд-во Перм. гос. тех. ун-т., 2010. – 557 с.
- 

УДК 544.723.2: 547.556.9

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ  
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕСТ-СИСТЕМ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОД**

**Маслакова Татьяна Ивановна,**  
канд. хим. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [biosphera@usfeu.ru](mailto:biosphera@usfeu.ru)

**Первова Инна Геннадьевна,**  
д-р хим. наук, заведующая кафедрой,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [biosphera@usfeu.ru](mailto:biosphera@usfeu.ru)

**Маслаков Павел Александрович,**  
ассистент, ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет,  
г. Екатеринбург, E-mail: [biosphera@usfeu.ru](mailto:biosphera@usfeu.ru)

**Алешина Людмила Викторовна,**  
канд. хим. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [biosphera@usfeu.ru](mailto:biosphera@usfeu.ru)

**Вураско Алеся Валерьевна,**  
д-р техн. наук, заведующая кафедрой,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [vurasko2010@vandex.ru](mailto:vurasko2010@vandex.ru)

**Симонова Елена Игоревна,**  
ассистент, ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет,  
г. Екатеринбург, E-mail: [bliznyakova1989@mail.ru](mailto:bliznyakova1989@mail.ru)

***Ключевые слова:** целлюлозосодержащая матрица, модифицированные сорбенты, твердофазные реагентные индикаторные системы, качество воды.*

***Аннотация.** Методом иммобилизации гетарилформаза на целлюлозные матрицы-носители синтезированы новые сорбенты, применимые для концентрирования и экспресс-определения ионов металлов. Изучены закономерности адсорбции на целлюлозную матрицу формаза реантов, установлено влияние структуры молекулы реагента и состава целлюлозной композиции на химико-аналитические характеристики получаемых тест-систем для оценки качества водных сред.*

STUDY OF TECHNICAL CELLULOSE TO PRODUCE  
EXPRESS ANALYTIC SYSTEM FOR WATER SAFETY CONTROL

Maslakova Tatiana Ivanovna,  
Ph.D. of Chemical Sciences, Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [biosphera@usfeu.ru](mailto:biosphera@usfeu.ru)

Pervova Inna Gennadievna,  
holder of an Advanced Doctorate in Chemical Sciences, head of the Department,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [biosphera@usfeu.ru](mailto:biosphera@usfeu.ru)

Maslakov Pavel Alexandrovich,  
Assistant, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [biosphera@usfeu.ru](mailto:biosphera@usfeu.ru)

Aleshina Lyudmila Viktorovna,  
Ph.D. of Chemical Sciences, Associate Professor,  
Ural State University of Economics, Yekaterinburg, E-mail: [biosphera@usfeu.ru](mailto:biosphera@usfeu.ru)

Vurasko Alesya Valeryevna,  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, head of the Department,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [vurasko2010@yandex.ru](mailto:vurasko2010@yandex.ru)

Simonova Elena Igorevna,  
assistant, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [bliznyakova1989@mail.ru](mailto:bliznyakova1989@mail.ru)

**Key words:** *cellulose-containing matrix, modified sorbents, hard-phase analytic system, water safety control.*

**Abstract.** *Advanced sorbents are synthesized by immobilizing hetarylformazans on cellulose carrier matrices. While studying adsorption of formazans onto cellulose matrices, it was established that the reagent molecule structure and the pulp-cellulose composition result to the chemical-analytical characteristics of the hard-phase analytic system. The sorbents are applied for concentration and rapid determination of ions metals in aqueous media.*

Одним из направлений решения проблемы создания эффективных и надежных средств экспрессного тестирования качества вод [1-8] является развитие базы твердофазных сорбентов/матриц, способных как к модификации поверхности органическими лигандами, так и к избирательному взаимодействию с ионами металлов. Определяющими при этом становятся следующие их характеристики: развитая поверхность материалов, разнообразие форм использования, механическая прочность, высокая емкость. Разработка простых, чувствительных и селективных твердофазных реакционных индикаторных систем (ТРИС), аналитическое применение которых основано на методах сорбционного концентрирования, выделения и разделения веществ, стимулирует поиск высокоэффективных и сравнительно недорогих сорбентов на основе различных натуральных/природных матриц.

С этой точки зрения особый интерес представляют целлюлозосодержащие сорбенты (ЦСС), полученные окислительно-органосольвентным способом из отходов переработки шелухи риса и соломы овса, в виде бумажных отливок [9,10].

Уникальные физико-химические свойства этих сорбентов (высокая гидрофильность, присутствие в составе реакционно-способных групп –COOH, –OH, –CO, наличие большого количества аморфных областей целлюлозы, контролируемая исходная нейтральная окраска) способствуют развитию гибридных методов анализа, сочетающих в одной аналитической процедуре процессы разделения, концентрирования, визуального и оптического детектирования.

В данной работе систематизированы сведения о создании и исследовании аналитического применения ТРИС на основе представленных целлюлозосодержащих сорбентов.

В качестве хромофорного реагента выбраны полидентатные формазаы, поскольку наличие в их структуре сопряженной азогидразонной группировки и дополнительного координационного центра обеспечивает не только интенсивное поглощение света в видимой области спектра, но и устойчивость металлокомплексов на их основе за счет повышения дентатности, что позволяет использовать их в качестве аналитических реагентов для определения металлов [11, 12].

Авторами разработаны следующие подходы для получения визуально наблюдаемого и легко измеряемого эффекта с помощью оптических методов детектирования на целлюлозосодержащих матрицах:

1) создание твердофазных реактивных индикаторных систем на основе иммобилизованного на целлюлозосодержащий сорбент/матрицу определенного гетарилформазаы;

2) создание аналитических систем, основанных на предварительном концентрировании матрицей определяемого иона с последующей его «проявкой» формазаы.

При исследовании первого способа получения ТРИС за счет иммобилизации формазаы на бумажные носители из шелухи риса и овса отмечено влияние наличия в целлюлозной подложке карбоксильных групп, несвязанных водородными связями, на строение аналитического реагента. Так, при пропитке твердофазного носителя растворами 1-фенил-3-метил-5-(4,6-дифенилпиримидинил)- и 1-толил-3-этил-5-(1-бензилбензимидазол-2-ил)формазаы наблюдается небольшое батохромное изменение цвета твердофазного реагента по сравнению с цветом исходных растворов ( $\Delta\lambda=40-50$  нм), что снижает контрастность восприятия. Методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в режиме вторичных электронов, спектроскопии диффузного отражения, ИК-спектроскопии и квантово-химических расчетов функционала плотности (B3LYP) с базисом 6-31G\*\* системы «сорбент-сорбат» установлено, что модификация матрицы-носителя гетарилформазаы группировками приводит к изменению состава и строения твердофазного носителя и способствует реализации определенной формы иммобилизованного реагента, отвечающей принципу минимального удовлетворения координационных требований иона металла.

В то же время благодаря высокому содержанию карбоксильных групп (89,8%) на ЦСС из шелухи риса и овса иммобилизованные формазаы удерживаются и при контакте с водными растворами солей Cu(II), Hg(II), Zn(II) и Pb(II) образуют глубокоокрашенные комплексные соединения ( $\Delta\lambda=80-180$  нм). При изучении сорбционно-аналитических характеристик применяемых сорбентов отмечено, что сорбционная способность и максимальная степень извлечения ионов Co(II), Ni(II), Cu(II), Hg(II), Zn(II), Cd(II), Ni(II) и Pb(II) зависит от характера гетероцикла иммобилизованного формазаы и увеличивается в ряду: бензтиазолил-< пиримидинил-< бензилбензимидазолил.

Показана принципиальная возможность тест-определения ртути(II) с использованием 1-(4-карбоксифенил)-3-метил-5-(4,6-дифенилпиримидинил)- и 1-(4-карбоксифенил)-3-изопропил-5-(бензоксазол-2-ил)формазаы в сточных и природных водах в пределах 2-46 мг/дм<sup>3</sup> и 0,1-45,5 мг/дм<sup>3</sup>, соответственно. Нижняя граница определяемых содержаний ртути(II) с использованием 1-(4-карбоксифенил)-3-изопропил-5-(бензоксазол-2-ил)формазаы составляет 0,05 мг/дм<sup>3</sup>. При определении содержания ионов свинца(II) с помощью 1-(4-толил)-3-этил-5-(бензилбензимидазол-2-ил)формазаы предел обнаружения – 0,04 мг/дм<sup>3</sup>.

Однако целлюлоза из шелухи состоит из коротких волокон, что затрудняет использование данного сорбента в качестве матрицы из-за низких прочностных характеристик. Поэтому для повышения механической прочности исследуемого сорбционного материала была составлена композиция на основе технической целлюлозы, полученной как из шелухи риса, так и соломы овса, которая выступает в качестве армирующего материала. Оптимальным установлен следующий состав композиции (% содержание от общей массы композиции): 50 –

целлюлозы из шелухи риса и 50 – целлюлозы из соломы овса. Однако выявлено, что иммобилизованные формазановые группировки на таких матрицах удерживаются слабо, что приводит к вымыванию их потоком анализируемого раствора.

Известно, что на чувствительность, селективность и точность определения токсикантов в реальных водных средах с помощью ТРИС зачастую оказывает большое влияние матричный состав пробы, а также низкие концентрации определяемых компонентов. В этом случае использование методов предварительного концентрирования позволяет выделить следовые концентрации веществ из большого объема солевого раствора сложного состава, снизить пределы обнаружения, устранить полностью или значительно уменьшить влияние фоновых макроэлементов, что, в свою очередь, повышает избирательность, чувствительность анализа и сокращает время проведения анализа [4,5,7,8].

Показано, что при реализации второго подхода к созданию твердофазных аналитических систем предварительное концентрирование ионов металлов происходит благодаря большому количеству аморфных областей и высокому содержанию карбоксильных групп (89,8%) в технической целлюлозе из шелухи риса. Согласно полученным данным, максимальная адсорбционная емкость ( $a_{\max}$ ) по ионам металлов, рассчитанная по уравнению Ленгмюра, составляет для Cu(II), Ni(II), Zn(II), Cd(II) и Pb(II) 86,92; 68,20; 70,05; 59,35; 84,23 ммоль/кг, соответственно.

При контакте с растворами гетарилформазанов (метод «проявки») удерживаемые на матрице ионы металлов образуют с органическими лигандами глубокоокрашенные комплексы соединения ( $\Delta\lambda = 80-180$  нм). Показана принципиальная возможность тест-определения ртути(II) с использованием 1-(4-карбоксифенил)-3-метил-5-(4,6-дифенилпиримидинил)- и 1-(4-карбоксифенил)-3-изопропил-5-(бензоксазол-2-ил)формазанов на матрицах из шелухи риса и овса в сточных водах в пределах 2,0–46,0 и 0,1–20,0 мг/дм<sup>3</sup>, соответственно. Нижняя граница определяемых содержаний ртути(II) с использованием 1-(4-карбоксифенил)-3-изопропил-5-(бензоксазол-2-ил)формазана составляет 0,05 мг/дм<sup>3</sup>. При определении содержания ионов свинца(II) с помощью 1-(4-толил)-3-этил-5-(бензилбензимидазол-2-ил)формазана предел обнаружения – 0,04 мг/дм<sup>3</sup>.

Кроме того матрицы, имеющие разные прочностные характеристики, можно накладывать друг на друга в проточной ячейке, выполняя одновременную сорбцию различных элементов, при этом на каждом диске носителя можно сконцентрировать 2-3 элемента с последующим определением каждого из них реакцией «проявки» с подходящим органическим реагентом. Показана возможность тест-определения ртути(II) и меди(II) с использованием 1-(4-карбоксифенил)- и 1-фенил-3-метил-5-(4,6-дифенилпиримидинил)формазанов на матрице из шелухи риса и соломы овса в природных водах. Нижняя граница определяемых содержаний ртути(II) составляет 0,06 мг/дм<sup>3</sup>, меди(II) – 0,05 мг/дм<sup>3</sup>.

На основе оптимизированных условий концентрирования металлов построены одноцветные цветовые шкалы для определения меди(II), никеля(II), цинка(II), ртути(II), кадмия(II), свинца(II), редкоземельных элементов, где каждому значению концентрации металла соответствует цифровое значение интенсивности цвета RGD.

Разработанные ТРИС апробированы на реальных объектах: в природных и дождевых водах, снежном покрове, смыве с листьев деревьев, расположенных вдоль городских магистралей. Показано удовлетворительное совпадение данных визуального определения с результатами количественного анализа в области средних значений стандартной шкалы. Метрологические характеристики свидетельствуют об их правильности и отсутствии систематических погрешностей. Правильность методик доказана методом инверсионной вольтамперометрии и методом «введено-найдено»

Таким образом, представленные в данной работе различные сочетания хромогенных реагентов и матриц, полученных на основе технической целлюлозы, позволяют регулировать чувствительность и избирательность экспрессных тест-средств.

Разработанные ТРИС для определения ионов металлов благодаря своей компактности, экспрессности, энергосбережению с успехом могут использоваться в режиме on-line, что незаменимо при контроле объектов окружающей среды при чрезвычайных экологических и иных ситуациях.

### Список литературы

1. Золотов Ю.А. Разделение и концентрирование в химическом анализе // Рос. хим. журнал. 2005. Т. 49. № 2. С. 6-10.
2. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. Эколого-аналитический мониторинг суперэкоотоксикантов. М.: Химия, 1996. 319 с.
3. Майстренко В.Н., Ключев Н.А. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. 323 с.
4. Золотов Ю.А. Химический анализ без лабораторий: тест-методы // Вестн. РАН. 1997. Т.67. № 6. С. 508-513.
5. Золотов Ю.А., Иванов В.М., Амелин В.Г. Химические тест-методы анализа. М.: Едиториал УРСС, 2002. 304с.
6. Островская В.М., Запорожец О.А., Будников Г.К., Чернавская Н.М. Вода. Индикаторные системы. М.: ВИНТИ РАН, 2002. 265 с.
7. Амелин В.Г. Ди- и триаминотриарилметановые реагенты, иммобилизованные на тканях из искусственных и натуральных волокон, в химических тест-методах анализа // Журн. аналит. химии. 2008. Т.63, №3. С. 327-329.
8. Саввин С.Б., Дедкова В.П., Швоева О.П. Сорбционно-спектроскопические и тест-методы определения ионов металлов на твердой фазе ионообменных материалов // Успехи химии. 2000. Т.69. № 3. С. 203-217.
9. Вураско А.В., Минакова А.Р., Дрикер Б.Н. Кинетика окислительно-органосольвентной делигнификации недревесного растительного сырья // Химия растительного сырья. 2010. № 1. С. 35-40.
10. Вураско А.В., Дрикер Б.Н., Первова И.Г., Минакова А.Р., Мертин Э.В. Разработка сорбционного материала на основе технической целлюлозы однолетних растений // Материалы четвертой международной научно-практической интернет-конференции «Леса России в 21 веке». Санкт-Петербург. 2010. С. 150-153.
11. Бузыкин Б.И., Липунова Г.Н., Сыроева Л.П., Русинова Л.И. Химия формазанов. М.: Наука, 1992. 376 с.
12. Прогресс в химии формазанов / Под ред. проф. Липунова И.Н. и д.х.н. Сигейкина Г.И. М.: ООО Издательство «Научный мир», 2009. 296 с.

---

УДК 676.017.274

### СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕГО РАДИУСА ПОР БУМАГИ

Агеев Максим Аркадьевич,

канд. техн. наук, доцент,

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,

г. Екатеринбург, E-mail: [m-ageev@yandex.ru](mailto:m-ageev@yandex.ru)

**Ключевые слова:** бумага, пористость бумаги, структура бумаги, капиллярная структура.

**Аннотация.** В работе исследована возможность использования стандартного прибора по определению воздухопроницаемости (ВП-2) для определения среднего радиуса пор в бумажном полотне.

## WAY OF DETERMINATION OF AVERAGE RADIUS OF PORE OF PAPER

**Ageev Maxim Arkadevich,**  
**Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,**  
**Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [m-ageev@vandex.ru](mailto:m-ageev@vandex.ru)**

**Key words:** paper, porosity of paper, structure of paper, capillary structure.

**Abstract.** The measurement of the air permeability values with the standard device ВП-2 to calculate the average effective pore radius in paper web has been studied.

Известно, что бумага является капиллярно-пористым материалом. Величина пористости, а также распределение пор по размерам существенно влияют на эксплуатационные показатели бумаги. Наличие и размеры пор обуславливают применение различных видов бумаги (фильтровальной, промокательной, упаковочной, санитарно-гигиенической и др.).

Особую роль приобретает значение пористости при нанесении печати. В зависимости от пористости по-разному протекают процессы взаимодействия бумаги с краской, так как они связаны с действием капиллярных сил вызывающих ее впитывание.

Условно, печатные краски можно представить в виде двух фазной системы состоящей из дисперсной фазы (твердых, нерастворимых частиц) – пигментов и дисперсной среды (растворителей, связующих веществ и др.) – жидкость.

При печати на бумаге с крупными порами, печатная краска, может проникать в структуру бумажного листа (впитываться) целиком (рис.1А). Бумага с мелкими порами создает условия избирательного впитывания дисперсной среды (растворители связующие). При этом пигменты не могут проникнуть в поры бумажного листа (рис.1Б).

Это приводит к увеличению концентрации пигмента в красочном слое на поверхности бумаги, что повышает прочность коагуляционной структуры краски, способствующей ее лучшему закреплению за счет повышения концентрации твердых смол, сопровождающееся их затвердением в красочном слое [1].

Для оптимального взаимодействия краски и бумаги необходимо, чтобы состав и вязкость краски и ее компонентов, с одной стороны, и пористая структура бумаги, с другой, соответствовали условиям печатания и характеру печатной продукции [1].



Рис.1. Проникновение пигментов печатной краски  
 в крупные поры А и мелкие поры Б

Нарушение процессов проникновения печатной краски в пористую структуру бумажного листа приводит к различным дефектам печати. Так, чрезмерное впитывание печатной краски может вызывать ее прохождение на обратную сторону листа, снижает равномерность красочного слоя на поверхности. Недостаточное впитывание может ухудшить закрепление частиц краски и вызвать ее отмарывание с запечатанной поверхности [1].



Пористая структура бумаги характеризуется размерами пор и их суммарным объемом. Так как поры бумаги не имеют определенной формы и различаются размерами, то для их характеристики используют условный показатель – средний радиус пор, который может быть определен на основании изучения кинетики впитывания с использованием прибора «Клемма-Винклера» [1].

Однако, проведенные нами исследования кинетики впитывания показали, что данный способ определения размеров пор сильно зависит от свойств используемой дисперсной среды, а именно от значений коэффициента поверхностного натяжения жидкостей, и поэтому, для одного и того же образца бумаги помещенного в разные дисперсные среды были получены разные значения размеров пор.

В данной работе предложен способ оценки среднего радиуса пор с использованием значения показателя воздухопроницаемость, измеряемый стандартным методом [2]. Для измерения воздухопроницаемости нами был использован стандартный прибор ВП-2.

Показатель «воздухопроницаемость» показывает объем воздуха прошедшего через ограниченную площадь образца в единицу времени при заданном разряжении. В свою очередь, воздухопроницаемость бумаги обусловлена наличием в ее структуре поровых каналов (пор) различного размера.

Бумажный лист представляет собой сложную структуру, состоящую из волокон, частиц наполнителей, проклеивающих веществ и поровых пространств между ними (рис. 2). Воздух может проходить только по порам бумажного образца.

Представим пору в виде условной трубки, радиус которой является радиусом поры, а длина условной трубки (поры) соответствует толщине образца бумаги.

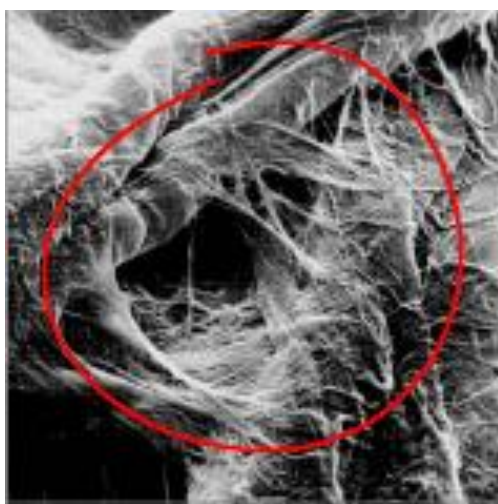


Рис. 2. Поры в структуре бумажного листа

Течение газов по трубам (при малых скоростях) описывают уравнением Пуазейля, согласно которому объем газа, протекающего в единицу времени через трубу радиусом  $r$  под действием разности давлений  $\Delta p$  на длине трубы  $l$ , равен [3]:

$$V = \frac{\pi r^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta p}{l}, \quad (1)$$

где  $\eta$  - динамическая вязкость газа.

Площадь образца бумаги, приходящуюся на поровые каналы (суммарная площадь пор), представили в виде:

$$S_{nop} = n\pi r^2, \quad (2)$$

где  $n$  – количество пор в образце;  $\pi r^2$  - площадь одной поры.



Соотношение между площадью образца приходящейся на поры ( $S_{пор}$ ) и общей площадью образца ( $S_{общ}$ ) представили в виде:

$$S_{пор} = S_{общ} \cdot m, \quad (3)$$

где  $m$  – величина пористости образца бумаги.

Выразим уравнение (1), с учетом (2) и (3) в виде:

$$V = \frac{S_{общ} m r^2}{8\eta} \cdot \frac{\Delta p}{l}, \quad (4)$$

где  $S_{общ}$  – площадь образца, м<sup>2</sup>;

$m$  – пористость образца бумаги;

$r$  – радиус поры, м;

$\Delta p$  – разность давлений (величина разряжения), Па;

$\eta$  – динамическая вязкость газа (воздуха), Па·с;

$l$  – длина поры (толщина образца бумаги), м.

Из уравнения (4) получили:

$$r = \sqrt{\frac{V \cdot 8\eta \cdot l}{S_{общ} \cdot m \cdot \Delta p}}. \quad (5)$$

В качестве примера, была исследована мешочная бумага марки М-78А. Среднее значение массы 1 м<sup>2</sup> образца бумаги составило 77,3 г. Среднее значение толщины образца бумаги 111 мкм ( $1,11 \cdot 10^{-4}$  м).

Согласно стандартной методике [2] измерили величину воздухопроницаемости, которая составила 382 мл/мин (или  $6,34 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/с) при величине разряжения  $\Delta p = 100$  мм.вод.ст. (981 Па).

Площадь образца ограниченная стандартными размерами измерительного зажима прибора ВП-2 составляет  $9,62 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>.

Пористость образца бумаги рассчитали с использованием известного соотношения:

$$m = V_{пор} / V_{обр}, \quad (6)$$

где  $V_{пор}$  – объем пор;  $V_{обр}$  – объем образца бумаги.

Объем пор рассчитали по уравнению:

$$V_{пор} = V_{обр} - V_{вол}, \quad (7)$$

где  $V_{вол}$  – объем занимаемый сухим материалом (целлюлоза).

Приняв известное значение плотности целлюлозы 1500 кг/м<sup>3</sup>, с учетом влажности отливки 8,7 % получили значение пористости  $m = 0,33$ .

Средний радиус пор, рассчитали по уравнению (5). В исследованном образце бумаги он составил  $r = 0,56 \cdot 10^{-6}$  м. Полученный результат хорошо согласуется с данными В. Брехта, А. Поля ссылающимися на Х. Корте, приведенными в книге [4], которые указывают, что средний радиус пор большинства видов бумаги составляет от 0,5 до 2 мкм.

Таким образом, в нашей работе предложен способ определения среднего радиуса пор бумаги с использования прибора для измерения показателя «воздухопроницаемость» (ВП-2).

### Список литературы

1. Тягунов, А.Г. Материаловедение. Лабораторный практикум: учеб. электрон. текст. издан. / А.Г. Тягунов, С.А. Воробьев, С.П. Арапова. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2009. 49 с.
2. ГОСТ 13525.14-77. Бумага и картон. Метод определения воздухопроницаемости. Введ. 1978-07-01. М.: Стандартинформ, 2007. 5 с.

3. Кикоин, А.К. Молекулярная физика: учеб. пособ. / А.К. Кикоин, И.К. Кикоин. М.: Наука, 1976. 480 с.
4. Фляте, Д.М. Свойства бумаги/Д.М. Фляте. М.: Лесная промышленность, 1970. 456с.

---

УДК 676.16.022.6.034

## ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ КОСТРЫ ЛЬНА МЕТОДОМ ПЕРОКСИДНО-АЦЕТАТНОЙ ВАРКИ

Арсеньева Дарья Юрьевна,  
аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск; E-mail: [darsenieva@mail.ru](mailto:darsenieva@mail.ru)

Казаков Яков Владимирович,  
д-р техн. наук, доцент,  
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: [j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru)

Окулова Елена Олеговна,  
аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: [e.okulova@narfu.ru](mailto:e.okulova@narfu.ru)

**Ключевые слова:** льняная целлюлоза, пероксидно-ацетатный метод, надуксусная кислота, костра льна, переработка отходов.

**Аннотация.** В работе рассмотрен метод получения целлюлозы пероксидно-ацетатным способом из костры льна. Экспериментальным способом в лабораторных условиях были получены образцы льняной целлюлозы. Была изучена зависимость влияния катализатора на качественные характеристики целлюлозы. Представлены результаты микроскопического исследования образцов льняной целлюлозы.

## FEATURES OF CELLULOSE OBTAINING FROM FLAX STRAW BY PEROXIDE ACETATE COOKING

Arsenyeva Darya Yurevna,  
post-graduate student, Northern (Arctic) Federal University  
named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, E-mail: [darsenieva@mail.ru](mailto:darsenieva@mail.ru)

Kazakov Yakov Vladimirovich,  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences,, Associate Professor,  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,  
Arkhangelsk, E-mail: [j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru)

Okulova Elena Olegovna,  
post-graduate student, Northern (Arctic) Federal University  
named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, E-mail: [e.okulova@narfu.ru](mailto:e.okulova@narfu.ru)

**Key words:** linseed cellulose, peroxide-acetate method, peracetic acid, flax straw, waste processing.

**Abstract.** The paper considers a method for obtaining cellulose by peroxide-acetate method from flax bonfire. Samples of linseed cellulose were obtained experimentally under laboratory conditions. The dependence of the influence of the catalyst on the qualitative characteristics of cellulose was studied. The results of a microscopic examination of samples of linseed cellulose are obtained.

Среди известных альтернативных источников получения целлюлозы применение недревесного растительного сырья считается наиболее перспективным. В настоящее время проведен ряд исследований, в которых рассмотрены различные методики получения целлюлозы из недревесного растительного сырья [1-4]. Анализ данных исследований позволил установить, что наиболее высокими показателями содержания целлюлозы обладают отходы льняного производства (костра, солома). Развитие льняного комплекса на территории Российской Федерации является одним из приоритетных направлений и имеет государственную поддержку, которая выражается в Федеральной целевой программой «Развитие льняного комплекса России на период до 2020 года».

Выбор пероксидно-ацетатного метода обусловлен тем, что в его основе лежит варка с использованием надуксусной кислоты (НУК) –  $\text{CH}_3\text{COOOH}$ , компоненты которой легко разлагаются на воду, кислород и уксусную кислоту и не являются особо опасными для окружающей среды [5]. Данный метод, к тому же, сразу обеспечивает и делигнификацию сырья, и отбелку волокна. Предварительные опыты показали перспективность этого способа для переработки соломы [6]. Вопросы переработки костры так же остаются актуальными.

В работе в качестве сырья использовалась костра льна с предприятия ООО «Тверская АПК». Влажность исходного сырья составляла 8,78 %, зольность 4,16 %.

Для стабилизации варочного раствора применялся препарат «Криодез» (ГК «Технология чистоты»), который обеспечивает стабильность НУК – 15 %.

В полученных образцах льняной целлюлозы определены характеристики: число Каппа целлюлозы по методу микро-Каппа; зольность, белизна, содержание  $\alpha$ -целлюлозы по стандартным методикам, средняя длина волокна и фракционный состав на автоматическом анализаторе волокна L&W FiberTester. Также выполнены микроскопические исследования.

Варка проводилась в лабораторных условиях, в стеклянной термостатированной трехгорлой колбе на масляной бане, снабженной обратным холодильником и мешалкой. Для изучения свойств полученных образцов процесс делигнификации проводили при следующих параметрах варки (табл. 1).

Таблица 1

Параметры проведения лабораторных варок

№ варки	Общий объем варочного раствора $V$ , мл	из них		Катализатор конц. $\text{H}_2\text{SO}_4$ , мл	Навеска сырья (костра), г	Продолжительность реакции, мин.	Температура варки, $t$ , °C
		НУК, мл	$\text{H}_2\text{O}$ , мл				
1	300	300	–	2,0	40	45	90...100
2	300	200	100	4,0	40	85	90...100
3	250	167	83	2,5	40	100	90...100
4	200	133	66	2,0	40	135	90...100

Первая варка проводилась в чистом растворе НУК без разбавления водой. Во 2, 3, 4 варках варочный раствор имел соотношение НУК 2:1. Объем катализатора (концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) составлял 2 % от объема варочного раствора. Продолжительность варки варьировалась в зависимости от степени готовности целлюлозной массы.

По окончании варки целлюлоза выкладывалась на фильтровальную бумагу, промывалась дистиллированной водой несколько раз на воронке Бюхнера и откачивалась жидкость под вакуумом при помощи колбы Бунзена.

В представленном эксперименте выполнены исследования по влиянию жидкостного модуля и расхода НУК на варку. Эксперимент показал, что при снижении гидромодуля (объема варочного раствора) и расхода НУК требуется увеличение продолжительности варки. Разбавление варочного раствора водой влечет за собой ограничение температурного диапа-

зона, поскольку при повышении температуры выше 100...110°C может происходить закипание раствора. Результаты анализа полученной целлюлозы представлены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства целлюлозы из костры льна

Образец	Химические свойства				Структурно-морфологические свойства		
	Зольность, %	Число Каппа	Белизна, %	$\alpha$ -целлюлоза, %	Средняя длина, мм	Средняя ширина, мкм	Грубость, дг
1	0,57	2,20	78,2	93,9	0,239	21,4	76,3
2	1,51	3,13	74,8	83,6	0,228	20,6	48,7
3	0,88	6,06	72,4	92,2	0,293	20,5	52,4
4	0,76	5,61	68,5	87,1	0,313	21,1	59,8

Полученная целлюлоза имеет достаточно высокую белизну, 68,5...78,2 %, которая повышается с увеличением гидромодуля. Зольность целлюлозы в 3...4 раза меньше, чем исходного сырья и составляет величину в большинстве случаев менее 1 %. Высокий гидромодуль также способствует снижению зольности полуфабриката. То есть зольные элементы, в большинстве своем, растворяются в варочном растворе и выводятся из волокна.

Из приведенных в таблице данных видно, что при снижении объема варочного раствора увеличивается показатели Микро Каппа и соответственно, содержание лигнина. При этом увеличение продолжительности варки не компенсирует полностью снижение расхода НУК на варку. При числе каппа в диапазоне 2,2...6,16. Расчетное содержание лигнина в образцах составит 0,03...0,09 %, то есть можно говорить об остаточном лигнине, повышение содержания которого, в свою очередь, приводит к закономерному снижению белизны.

Отличительной особенностью целлюлозы из костры льна методом пероксидно-ацетатной варки является высокое содержание  $\alpha$ -целлюлозы, которое составляет до 94 %.

Для оценки возможности использования полученного волокна в композиции бумаги и картона, у образцов были определены структурно-морфологические свойства на автоматическом анализаторе волокна L&W FiberTester.

Средняя длина волокон целлюлозы составляет 0,23...0,31 мм (табл. 2). При снижении объема варочного раствора наблюдается небольшое возрастание средней длины волокна. Средняя ширина волокна остается практически неизменной и в среднем составляет 20,1 мкм.

Фракционный состав по длине волокна образцов целлюлозы из костры льна представлен на рис.1. Большую часть волокон составляют очень короткие волокна с длиной до 0,3 мм. Такая длина волокна, характерная для волокна из соломы, является слишком малой для самостоятельного использования этого волокна в технологии бумаги. Однако, как добавку в композиции ее вполне можно использовать.

Результаты микроскопических исследований полученной целлюлозы представлены на рис. 2. Для исследований применяли Исследовательский моторизованный микроскоп высокого разрешения для исследования целлюлозы и бумаги. ImagerZ2m Carl Zeiss. Анатомические элементы целлюлозы из льняной костры представляют собой короткие волокна, с низким соотношением длина : ширина.

Из фотографий видно, что волокна полученной целлюлозы имеют ряд отличий от волокон из древесины, и даже в неразмолотом состоянии, содержат обрывки волокон, образовавшихся, по всей видимости, при перемешивании волокнистой массы мешалкой в процессе варки.

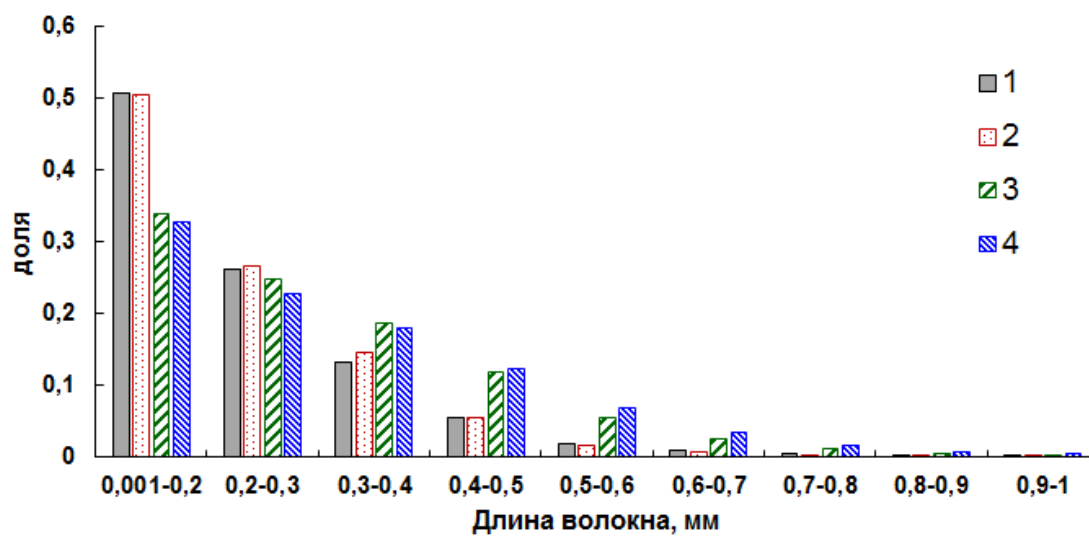


Рис. 1. Фракционный состав по длине волокна образцов целлюлозы из костры льна

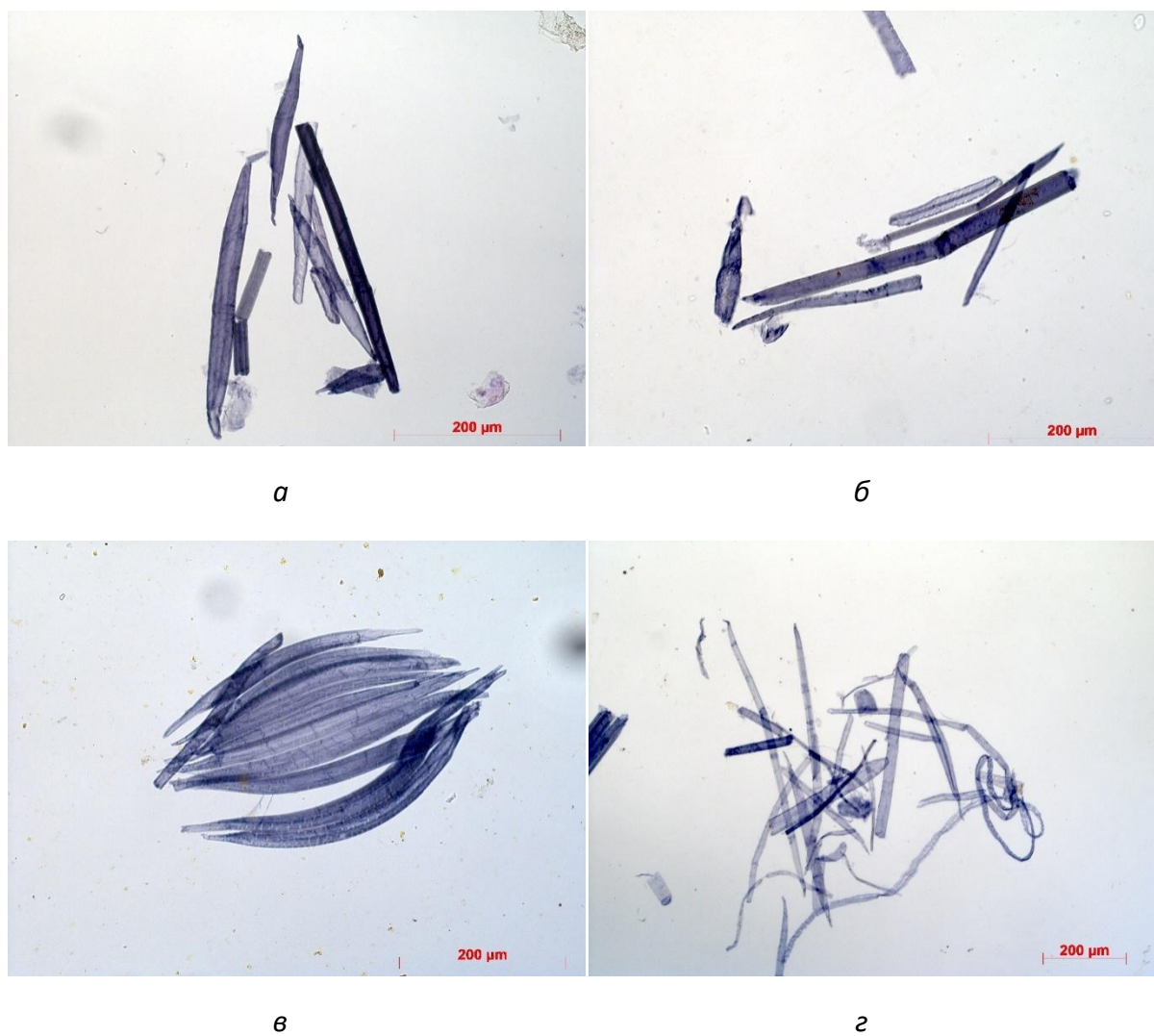


Рис. 2. Микрофотографии образцов целлюлозы из костры льна:  
а – образец номер 1; б – номер 2; в – номер 3; г – номер 4

Проведенный эксперимент по исследованию влияния условий варки показал, что для использования полученного волокна для химической переработки следует увеличивать жидкостный модуль и расход НУК, а для использования в композиции бумаги – наоборот, снижать.

В настоящее время отходы льняного производства в виде соломы и костры в большинстве случаев сжигается, не находя оптимального применения. Поэтому исследования технологии получения и свойств волокнистых материалов из этого сырья помогают найти пути решения проблемы переработки отходов льняного производства. Вместе с тем, исследования в области поиска альтернативного вида сырья позволяют расширить сырьевой потенциал для получения целлюлозного волокна различного назначения.

### Список литературы

1. Будаева В.В., Гисматулина Ю.А., Золотухин В.Н., Роговой М.С., Мельников А.В. Физико-химические свойства целлюлозы из соломы льна-межеумка // Ползуновский вестник, № 3, 2013, С.168–173.
2. Дейкун І.М., Пойда В.В., Барбаш В.А. Одержання целюлози із соломи ріпаку окисно-органосольвентним способом делігніфікації. //Навукові вісті НТУУ «КПІ». 2010. № 2. С.148.
3. Гисматулина Ю.А. Химический состав перспективного недревесного сырья – мискантуса и соломы льна межеумка // Фундаментальные исследования. 2016. № 4 (часть 2). С. 249–252.
4. Мертин Э.В. Получение целлюлозы щелочно-окислительно-органосоль-вентным способом с применением озона. Дисс. ... к.т.н. /05.21.03. Екатеринбург, 2013. 153 с.
5. Глазова Н.В., Сатина О.И. НУК: экологически безопасная альтернатива хлору // Птица и птицепродукты, 2010, №1, С. 58–60.
6. Арсеньева Д.Ю., Казаков Я.В. Бумагообразующие свойства волокна, полученного из соломы льна пероксидно-ацетатным методом / В сб. «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов»: матер. IV Междунар. науч.-техн. конф. (Архангельск, 14–16 сентября 2017 г.) // Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. Архангельск: САФУ, 2017. С.303–307.

---

УДК 628.161\*3(470.11)

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА КОАГУЛЯЦИИ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

**Бойкова Татьяна Евгеньевна,**  
аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск; E-mail: [t.boykova@narfu.ru](mailto:t.boykova@narfu.ru)

**Богданович Николай Иванович,**  
д-р техн. наук, профессор,  
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск; E-mail: [n.bogdanovich@narfu.ru](mailto:n.bogdanovich@narfu.ru)

**Мауричева Татьяна Станиславовна,**  
канд. геол.-мин. наук, заведующая кафедрой,  
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Северодвинск, e-mail: [t.mauricheva@narfu.ru](mailto:t.mauricheva@narfu.ru)

**Ключевые слова:** коагуляция, полиоксихлорид алюминия, водоподготовка, уравнения регрессии, гуминовые кислоты, обесцвечивание.



**Аннотация.** Исследован процесс коагуляции высокоцветных природных вод с применением современных реагентов. Определены основные показатели качества воды до и после обработки: цветность, взвешенные вещества, химическая потребность в кислороде (ХПК), водородный показатель pH, остаточные концентрации алюминия и железа. Доказана эффективность коагулянта полиоксихлорида алюминия (ПОХА) в условиях низких температур (1-5 °С), высокой цветности и низкой щелочности исходной природной воды. Получены уравнения регрессии и оптимизированы условия коагуляции с использованием коагулянта ПОХА.

## A MATHEMATICAL MODEL OF THE COAGULATION PROCESS AT LOW TEMPERATURES

**Boykova Tatyana Evgenevna,**  
post-graduate student, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,  
Arkhangelsk, E-mail: [t.boykova@narfu.ru](mailto:t.boykova@narfu.ru)

**Bogdanovich Nikolai Ivanovich,**  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor,  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,  
Arkhangelsk, E-mail: [n.bogdanovich@narfu.ru](mailto:n.bogdanovich@narfu.ru)

**Mauricheva Tatyana Stanislavovna,**  
Ph.D. of Geologo-Mineralogical Sciences, head of Department,  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,  
Severodvinsk, E-mail: [t.mauricheva@narfu.ru](mailto:t.mauricheva@narfu.ru)

**Key words:** coagulation, aluminum polyoxychloride, water treatment, regression equations, humic acid, color removal.

**Abstract.** The paper presents some results of modern chemicals investigation. Water treatment coagulant is evaluated here through a series of jar-tests. Although low water temperature and debris like humic acid, modern inorganic coagulants were effective in several prior laboratory studies. It were measured indicators of measuring water quality such as chemical oxygen demand (COD), turbidity, residual aluminium and ferric, pH before and after jar-tests. The results are introduced in the form of mathematical relations for calculation of the optimum coagulant doses.

Вода в целлюлозно-бумажной промышленности используется на всех стадиях производства. На выработку 1 т бумаги из древесины расходуется от 100 до 1500 м<sup>3</sup> воды. Для обеспечения необходимого качества целлюлозы и изделий на ее основе требуется чистая вода, содержание примесей в которой строго лимитировано. Повышенные требования к качеству воды обусловлены тем, что целлюлоза является активным поглотителем различных примесей, растворенных в воде. На поверхности целлюлозы есть функциональные группы, которые вступают в химическое взаимодействие с примесями. Органические вещества в воде придают целлюлозе окраску, снижают белизну бумаги, ухудшая качество получаемой продукции.

В Архангельской области расположены ОАО «Архангельский ЦБК» и Котласский ЦБК «Филиал АО «Группа «Илим» в г. Коряжме» с объемом производства 330 тыс. тонн в год. АО «Группа «Илим» производит в том числе мелованную бумагу, которая создана для производства печатной продукции исключительно высокого качества. Вода для нужд производств отбирается из р. Мечки – рукава Северной Двины и из р. Вычегда соответственно. Источники водоснабжения в северном регионе имеют ряд особенностей: высокая цветность 150...250 в градусах платиново-кобальтовой шкалы (°ПКШ) при малой мутности до 30,5 мг/л и низкий щелочной резерв от 0,18 до 0,80 мг-экв/л. [13]. При этом среднегодовые температуры воды низкие. В течение 5...8 месяцев температура не превышает 1...5 °С. Это затрудняет



процессы водоподготовки, т.к. реакции идут с низкой скоростью и не до конца. Коллоидно-дисперсные примеси воды обуславливаются присутствующими в воде органическими соединениями, придают цветность и устранение данных примесей проводится методом коагуляции [6].

Очистка воды на данных предприятиях проводится по стандартной технологии: процеживание, подщелачивание, коагуляция, отстаивание, фильтрование, обеззараживание, после чего вода отправляется на доочистку на ионообменные фильтры. Очистные сооружения спроектированы в 60-ые годы двадцатого века, морально и физически устарели, и вода на выходе из сооружений часто не соответствует современным требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01. Содержание остаточного алюминия в обработанной воде иногда выше 0,5 мг/л (при ПДК 0,2 мг/л [12]) и цветность выше 20 °ПКШ. Причина этого – неполное протекание процесса коагуляции вследствие недостаточной эффективности коагулянта (сернокислого алюминия) и низкой температуры. Полная реконструкция очистных сооружений экономически не целесообразна, поэтому требуется найти альтернативное решение.

Основной тенденцией повышения эффективности обесцвечивания для мирового уровня является использование сложных высокомолекулярных реагентов (коагулянтов и флокулянтов) с точными характеристиками и селективными свойствами. Их дозировка зависит от множества факторов. Для каждой конкретной природной воды со своими особенностями надо подбирать технологию и диапазон рабочих концентраций.

Авторами были реализованы эксперименты на воде р. Северная Двина, Вычегда. Пробы отбирались в период паводка (сентябрь-октябрь 2017 года). Коагуляцию проводили по известной методике пробной коагуляции. В пробу объемом 200 мл при постоянном перемешивании вносили дозу коагулянта от 5 мг/л до 80 мг/л. Пробу перемешивали 3 мин с максимальной интенсивностью 200 об/мин, вносили раствор флокулянта, перемешивали с интенсивностью 50 об/мин в течение 10 мин, затем смесь отстаивали 30 мин. Определяли динамику содержания взвешенных веществ, а также pH, ХПК, цветность, остаточные алюминий и железо после фильтрования пробы.

Как показали предварительные эксперименты, среди всех современных коагулянтов (оксихлориды и полиоксихлориды разных марок и производителей, сульфат железа, сернокислый алюминий в жидкой форме с концентрацией 7,2% по активному веществу) самым эффективным оказался полиоксихлорид алюминия с концентрацией по  $Al_2O_3$  – 30 % фирмы «АкваАУРАТ». Поэтому серии в планированном эксперименте были поставлены с применением данного коагулянта.

Для увеличения эффективности коагулянт испытывали совместно с флокулянтами как природного происхождения (альгинат натрия), так и синтетическими – катионные, анионные и неионогенные в концентрации 0,05 % и дозировке 0,25...0,5 мг/л. Тестировали российские и флокулянты зарубежных марок, всего 22 образца: Флопам компании «SNF FLOERGER», Франция; Магнафлок швейцарской фирмы Ciba Specialty Chemicals; Superfloc компании Kemiga с относительным молекулярным весом от низкого до очень высокого и различными плотностями заряда. Все флокулянты соответствуют СанПиН 2.1.4.1074-01. Наилучшие результаты были при применении коагулянта ПОХА с флокулянтами: *анионными* - Флопам AN 905 SH; Superfloc A-120, Superfloc A-100, *неионными* - Флопам AN 912 SH, Superfloc N-300, Магнафлок LT 20, *катионными* - Флопам FO4115 SH, Флопам FO 4190 SH, Flopam FO 4240 SH.

Для реализации планированного эксперимента выбран анионный флокулянт AN 905 SH – полиакриламидный полимер с низкой плотностью заряда и высокой молекулярной массой. Поставлены две серии параллельных опытов по плану полного факторного эксперимента  $2^k$  при  $k = 3$  с целью определения значимых факторов и оптимизации условий коагуляции. Процесс зависит от многих факторов: марки, дозы и концентрации реагентов, скорости и времени перемешивания, pH и щелочного резерва обрабатываемой воды, температуры реакции, от характера и содержания примесей. В качестве варьируемых факторов взяты доза коа-

гулянта ПОХА, доза флокулянта AN 905 SH в области от порога коагуляции до максимальной эффективности, температура воды (табл. 1). Функция отклика  $y$  – цветность профильтрованной пробы в единицах оптической плотности.

Таблица 1

Кодированные и числовые значения факторов

Фактор	Значение фактора и интервал варьирования			
	-1	0	+1	Интервал варьирования
$X_1$ – доза коагулянта, мг/л	20	30	40	10
$X_2$ – доза флокулянта, мг/л	0,2	0,3	0,4	0,1
$X_3$ – температура, °C	5	10	15	5

Исходные показатели качества воды: рН = 7,03; ХПК 58 мг  $O_2$ /л, цветность 152 °ПКШ, содержание взвешенных веществ 46,2 мг/л. Экспериментальная точка 9 – опыт в центре плана,  $y_{ср}$  – среднее значение функции отклика по результатам двух параллельных серий опытов. Результаты реализации плана полного факторного эксперимента приведены в табл.2.

Проверка на воспроизводимость опытов по критерию Кохрена показала: расчётный критерий Кохрена  $Gr=0,424$  не превысил критический  $G_{кр} = 0,679$ , следовательно опыты воспроизводимы. Для оценки значимости каждого фактора использовался t-критерий Стьюдента для уровня значимости  $\alpha = 0,05$ . Рассчитаны коэффициенты уравнения регрессии с учетом всех влияющих факторов:

$$y = 0,057 - 0,0398x_1 - 0,0046x_2 + 0,0005x_3 + 0,001x_1x_2 + 0,001x_2x_3 + 0,021x_1x_3$$

Табличное значение критерия Стьюдента  $t_{кр} = 2,31$  при уровне значимости  $\alpha=0,05$  и  $f_2=8$  степеней свободы. Коэффициент  $b$  значим, если  $|b_i, b_{ij}| > t_{кр} \sqrt{S^2} = 0,031$ ,  $S^2$  – дисперсия воспроизводимости выходного параметра. Уравнение после исключения незначимых коэффициентов:  $y = 0,057 - 0,0398x_1$ .

Таблица 2

План полного факторного эксперимента и результаты его реализации

Экспериментальные точки	Кодированные и натуральные значения переменных факторов						$y_{\text{ср}}$	$y_{\text{ср}, 0}^{\text{ПКШ}}$
	$X_1$		$X_2$		$X_3$			
	код	мг/л	код	мг/л	код	$^{\circ}\text{C}$		
1	-	20	-	0,2	-	5	0,12	20,0
2	+	40	-	0,2	-	5	0,02	3,6
3	-	20	+	0,4	-	5	0,09	16,3
4	+	40	+	0,4	-	5	0,02	3,6
5	-	20	-	0,2	+	15	0,10	18,1
6	+	40	-	0,2	+	15	0,03	5,5
7	-	20	+	0,4	+	15	0,10	18,1
8	+	40	+	0,4	+	15	0,02	3,6
9	0	30	0	0,3	0	10	0,02	3,6

Уравнение адекватно, расчетный критерий Фишера  $F_p=0,098$  для уровня значимости  $\alpha = 0,05$ , не превышает критическое  $F_{кр} = 4,46$ . Значимым оказался только фактор  $x_1$  – доза коагулянта ПОХА, причем с увеличением дозы от 20 до 40 мг/л цветность обработанной воды уменьшается. Предварительные эксперименты показывали, что увеличение дозы коагулянта

от 15 до 100 мг/л вначале приводило к снижению цветности пробы, но до определенного уровня. При дальнейшем увеличении дозы наступал обратный рост цветности и коагуляция протекала все хуже. Предполагаем, что полученное уравнение регрессии имеет экстремум - минимум функции. Для проверки на значимость квадратичных эффектов в уравнении были поставлены специальные опыты в центре плана (точка 9). Проверка показала необходимость включения квадратичных членов. Для расчета коэффициентов при квадратичных членах выполнен ротатабельный центральный композиционный план второго порядка. За ядро плана взят проведенный полный факторный эксперимент.

Для проверки воспроизводимости выполнены параллельные наблюдения в центре плана (6 опытов). Геометрической интерпретацией полного факторного эксперимента является куб, «звездные точки» ротатабельного композиционного плана лежат за пределами куба, т.к. они расположены на расстоянии большем, чем  $\pm 1$  от центра плана, и лежат на поверхности сферы диаметром  $2\alpha$ . Величину звездного плеча  $\alpha = 1,682$  выберем по таблице [4].

Уровень  $-\alpha$  в матрице планирования эксперимента будет равен:  $-\alpha = 10 - (1,682 \cdot 5) = 1,59$ ; округлим значение до  $1,6$  °C. Уровень  $+\alpha$  определим как  $+\alpha = 10 + (1,682 \cdot 5) = 18,41$ . Для остальных факторов проведен аналогичный расчет, результаты округляем.

Таблица 3

Кодированные и числовые значения факторов ротатабельного эксперимента

Фактор	Уровни фактора и интервалы варьирования					
	$\Delta x$	$-\alpha$	-	0	+	$+\alpha$
Доза коагулянта, мг/л, $x_1$	10	13,18	20	30	40	46,82
Доза флокулянта, мг/л, $x_2$	0,1	0,13	0,2	0,3	0,4	0,47
Температура, °C, $x_3$	5	1,6	5	10	15	18,0

После расчета групп коэффициентов и исключения эффектов с незначимыми коэффициентами, окончательное уравнение:  $y = 0,053163 - 0,0523x_1 + 0,0279x_1^2$

Критерий Фишера  $F_p = 3,9$ , критическое значение критерия Фишера для уровня значимости  $\alpha=0,05$  и числа степеней свободы  $f_1 = 11$ ,  $f_2 = 5$ , равно 4,70. Таким образом полученное уравнение адекватно. Построим поверхность отклика в MS Excel. Несмотря на то, что фактор  $x_3$  статистически незначим, для наглядности показана зависимость функции отклика  $y$  от двух факторов: доза коагулянта и температура (рис.1).

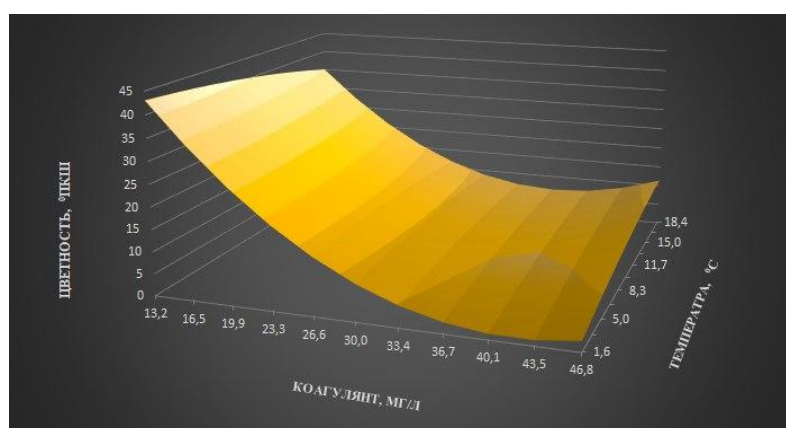


Рис.1. Влияние дозы коагулянта и температуры на цветность фильтрата

Выводы: установлено, что значимым является только фактор  $x_1$  – доза коагулянта, зависимость обратная, при увеличении дозы коагулянта до оптимума цветность обрабатываемой воды снижается; доказано, что при применении коагулянта ПОХА влияние температуры

на эффективность обесцвечивания незначима (фактор  $x_3$  исключен из уравнения); доказана эффективность коагулянта для обесцвечивания маломутной высокоцветной воды без добавления флокулянта; функция не линейная, при достижении оптимальной дозы (42,3 мг) следует спад эффективности.

В натуральном выражении оптимальные условия коагуляции следующие: доза коагулянта ПОХА 42,3 мг/л; доза флокулянта в диапазоне от 0,13 до 0,47 мг/л; температура от 1,6 до 18 °С; исходная цветность воды до 200 °ПКШ. Для подтверждения расчетных значений был поставлен ряд опытов в оптимальном режиме. Расчетные значения совпали с экспериментальными. Для проверки влияния значимого фактора на содержание остаточного алюминия проведены дополнительные измерения. Концентрация алюминия при дозе ПОХА 20, 30 и 40 мг/л составила 0,0; 0,05 и 0,08 мг/л соответственно, что не превышает ПДК = 0,2 мг/л. Цветность снижалась на 97 ...99 %, окисляемость на 75 %, что свидетельствует о наличии в данной природной воде большого количества неокрашенных органических веществ, неустраняемых коагуляцией.

### Список литературы

1. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. М.: Высшая школа, 1978. – 319 с.
2. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. М.: Наука, 1977. – 356 с.
3. Богданович Н.И., Кузнецова Л.Н., Третьяков С.И., Жабин В.И. Расчеты в планировании эксперимента: учебное пособие – 2008. – 123с.
4. Вейцер Ю.И., Минц Д.М. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки воды. – М.:Стройиздат, 1975.
5. Гетманцев С.В., Гетманцев В.С. Комбинированная технология производства высокоэффективных коагулянтов // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. №3.
6. Драгунский В.Л., Алексеева А.П., Гетманцев С.В.. Коагуляция в технологии очистки природных вод. Науч. изд. – М., 2005. – 576 с.
7. Жулин А. Г., Елизарова О. Д., Глущенко Е. С.К выбору емкости для пробного коагулирования. // Вода и экология: проблемы и решения. 2016. №4, с. 3-12.
8. Запольский А.К., Баран А.А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение. – Л.: Химия 1987.
9. Линевиц С.Н., Гетманцев С.В. Коагуляционный метод водообработки. Теоретические основы и практическое использование. М.: Наука, 2007. – 167 с.
10. Лукашевич О.Д. Экологические и технологические аспекты оценки качества природных вод для производственного и хозяйственно-бытового использования // Вода и экология, 2007. - Т. 1, вып. 1. - С. 3-16.
11. Рузинов Л.П. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / Рузинов Л.П., Слободчикова Р.И. М.: Химия, 1980. 280 с.
12. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».
13. Сычев А.В., Хасанов Ш. А., Канивец Л.П., Солтан Н.М., Батуев Л.Д. Использование полиоксихлорида алюминия при подготовке питьевой воды на Крайнем Севере // Водоснабжение и санитарная техника.
14. Феофанов Ю.А., Хиршиева И.В. Повышение эффективности процесса коагуляции маломутных цветных вод путем введения добавок-утяжелителей.// Вода и экология: проблемы и решения. 2015 . №2, с. 24-30.
15. Шутько А.П., Сороченко В.Ф., Козликовский Я.Б. Очистка воды основными хлоридами алюминия. – Киев: Техника, 1984.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗМОЛА ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ В НОЖЕВЫХ МАШИНАХ

Вихарев Сергей Николаевич,

канд. техн. наук, доцент,

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,

г. Екатеринбург, E-mail: [cbp200558@mail.ru](mailto:cbp200558@mail.ru)

**Ключевые слова:** размол, нож, силы, контакт, волокнистый материал.

**Аннотация.** В статье сделана попытка применить теорию контакта к исследованию процесса размола. Исследован коэффициент трения между гарнитурами. Показан волновой характер износа гарнитуры.

## RESEARCH MILL OF FIBROUS SEMIFINISHED ITEMS IN KNIFE MACHINES

Vikharev Sergey Nikolayevich,

Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [cbp200558@mail.ru](mailto:cbp200558@mail.ru)

**Key words:** mill, knife, forces, contact, fibrous material.

**Abstract.** In article attempt to apply the theory of contact to research process mill is made. The factor of friction between sets is investigated. Wave character of deterioration sets is shown.

Ножевые размалывающие машины – основное технологическое оборудование для размола волокнистых материалов в целлюлозно-бумажной промышленности. При размоле волокнистых материалов в мельницах закладываются основные свойства выпускаемой продукции [1,2]. Эти машины относятся к самому энергоемкому оборудованию при производстве бумаги, картона и древесных плит [2,3,4,5]. Актуальность исследования процесса размола в ножевых размалывающих машинах подтверждено публикациями с анализом различных аспектов в области гидродинамики [7,8,10] и силового взаимодействия [2,3,6,8,9].

Однако исследование таких задач осложнено особенностями взаимодействия ножей гарнитуры мельниц и свойств волокнистых материалов. В статье сделана попытка применения теории контакта к исследованию процесса размола. Задача формулируется в рамках развития и приложения классических моделей механики сплошных сред, и основывается на теории дискретного контакта двух тел [11,12].

Рассмотрим скольжение ножей гарнитуры ротора по ножам статора с постоянной скоростью  $\vec{V}$  (рис. 1). Ножи ротора и статора отделены друг от друга вязкоупругим волокнистым материалом.

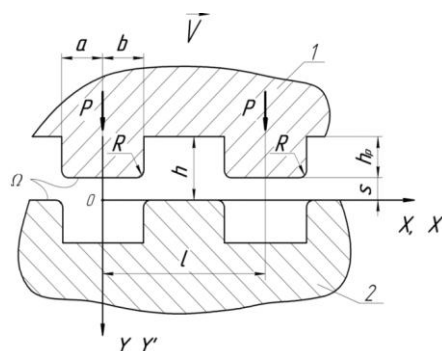


Рис. 1. Схема контактного взаимодействия ножей: 1 – ротор; 2 – статор

Форма ножей описывается обобщённой функцией Хевисайда  $f(x, z)$ . Ножи расположены вдоль оси  $x$  с периодом  $l$ . Введем неподвижную систему координат  $(x', y', z')$  так, что её начало в момент времени  $t = 0$  расположено в центре одного ножа ротора, ось  $x'$  направлена вдоль вектора скорости, а ось  $y'$  направлена в центр межножевой канавки статора. Также введем подвижную со скоростью систему координат  $(x, y, z)$  связанную с ротором и движущуюся со скоростью  $\vec{V}$ .

Форма ножей описывается как

$$f(x, z) = h_0/2 + \sum_{j=1}^n (1 - h_0/h_{pj}) h_{pj} \Delta \Gamma_{x_j, z_j}, \quad x \in (0, l), \quad z \in (0, r)$$

где  $\Delta \Gamma_{x_j, z_j} = \Gamma(x, z - x_j, z_j) - \Gamma[x, z - x_j, z_j - (a+b)_j, c_j]$ ,  $\Gamma(x, z)$  – единичная функция Хевисайда;  $x_j, z_j$  – координата точки начала  $j$ -го ножа;  $(a+b)_j, c_j$  – соответственно ширина и длина  $j$ -го ножа;  $h_0$  – толщина гарнитуры;  $h_{pj}$  – высота  $j$ -го ножа;  $n$  – число ножей,  $r$  – радиус ножевой гарнитуры.

В зоне контакта  $\Omega$  выполняется условие

$$w(x, z) = \delta + f(x, z), \quad (x, z) \in \Omega,$$

где  $w(x, z)$  – нормальные перемещения границы вязкоупругого слоя вследствие его деформирования;  $\delta$  – сближение ножей ротора и статора за счет деформирования.

Контактное давление  $p(x, z)$  вне площадок контакта и на её границе  $(-a(z), b(z))$  равно нулю:

$$p(x, z) = 0, \quad (x, z) \notin \Omega, \quad p(-a(z)) = p(b(z)) = 0.$$

Нормальные перемещения и давление по координате  $x$  удовлетворяют условиям периодичности

$$w(x, z) = w(x + l, z), \quad p(x, z) = p(x + l, z).$$

Уравнение равновесия для ножа имеет вид

$$\iint_{\Omega} p(x, z) dx dz = P,$$

где  $P$  – нагрузка на один нож.

Впервые контактное взаимодействие гарнитуры мельниц с волокнистым полуфабрикатом было рассмотрено автором в статье [13].

Схема сил, действующих на нож, показана на рис. 2.  $T_d, P_e$  – тангенциальная и нормальная составляющие силы реакции волокнистой прослойки.

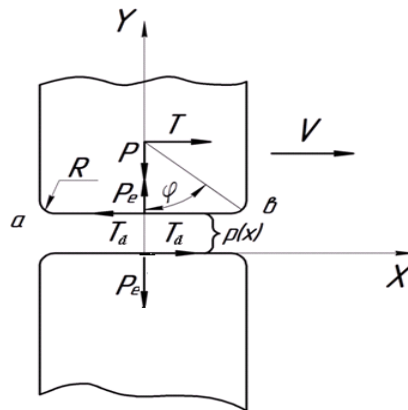


Рис. 2. Схема сил, действующих на нож при размоле волокнистой массы

Для площадки контакта  $(a + b)$  ножей гарнитуры справедливы отношения

$$\hat{P}_e = 2 \sum_{j=1}^N \Delta \hat{z} \int_{-\hat{a}_j}^{\hat{b}_j} \hat{p}_j(\hat{x}, \hat{z}_j) \cos \varphi(\hat{x}) d\hat{x};$$

$$\hat{T}_d = 2 \sum_{j=1}^N \Delta \hat{z} \int_{-\hat{a}_j}^{\hat{b}_j} \hat{p}_j(\hat{x}, \hat{z}_j) \sin \varphi(\hat{x}) d\hat{x};$$



$$\hat{M} = \iint_{\Omega} \hat{x} \hat{p}(\hat{x}, \hat{z}) d\hat{x} d\hat{z},$$

где  $N$  – число тонких полос, параллельных направлению скольжения;  $-\hat{a}_j, \hat{b}_j$  – границы  $j$  полосы шириной  $\Delta \hat{z}$ ,  $\hat{p}_j(\hat{x}, \hat{z}_j)$  – распределение давления в зоне контакта;  $\hat{x}, \hat{z}$  – безразмерные координаты;  $\hat{M}$  – момент сопротивления движению ножа.

Коэффициент трения скольжения между ножами ротора и статора можно определить как  $\mu = \hat{T}_d / \hat{P}_e$ .

Исследование свойств волокнистой прослойки и контактного взаимодействия ножей выполнено в работах [13, 14]. Зависимость коэффициента трения между гарнитурами  $\mu$  от параметра  $\zeta$  при представлена на рис. 3.

Коэффициент трения уменьшается с уменьшением  $\frac{l}{a+b}$ . С уменьшением жесткости волокнистой прослойки увеличивается значение коэффициента трения, а также усиливается влияние плотности контакта. Максимальное значение коэффициента трения  $\mu$  смещается в сторону больших значений при увеличении  $\frac{l}{a+b}$  и прочих равных значениях параметров.

Деформационная составляющая коэффициента трения стремится к нулю при  $\zeta \rightarrow 0$  (при  $V \rightarrow \infty$ ). Анализируя вышесказанное, можно обоснованно подойти к уменьшению коэффициента трения при размоле в ножевых машинах и снижению энергозатрат мельниц.

В зоне размола целесообразно использовать вместо трения скольжения трение качения. Это приведет к снижению энергоемкости мельницы и уменьшению рубящих воздействий ножей гарнитуры на полуфабрикат. Использовать трение качения в зоне размола предложено в конструкциях размалывающих машин, защищенных патентами [15,16].

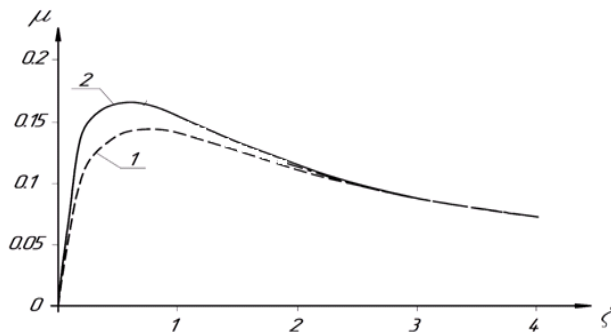


Рис. 3. Зависимость деформационной составляющей коэффициента трения  $\mu$

от параметра  $\zeta$ : 1 – при высокой плотности контакта  $\frac{l}{a+b} = 2$ ;

2 – при низкой плотности контакта  $\frac{l}{a+b} = 6$ .

Установившееся в процессе изнашивания форма ножей гарнитуры мельницы зависит от следующих безразмерных комплексов:  $\hat{a}, m$  – триботехнические свойства материала гарнитуры;  $\gamma$  – отношения времен  $T_\sigma$  релаксации и  $T_\delta$  последствия волокнистой прослойки;  $\zeta = \left(\frac{l}{V}\right) / T_\delta$  – отношение времени воздействия ножей гарнитуры за один период к времени  $T_\delta$  последствия волокнистой прослойки.

При экспериментальном исследовании поверхности изношенной гарнитуры многие авторы отмечали волновой характер износа [17,18]. Построен график формы поверхности гарнитуры в установившемся режиме изнашивания (рис. 4).

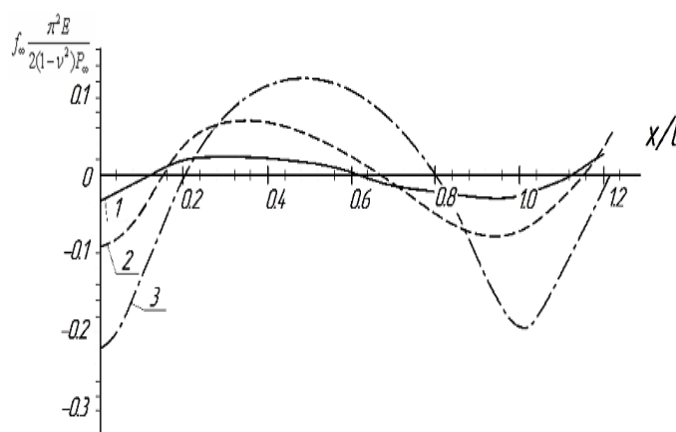


Рис. 4. Установившаяся форма изношенной поверхности гарнитуры при  $m_1 = 0,3$ ,  $\hat{a} = 0,2$ ,  $\gamma = 10^{-3}$ : 1 –  $\zeta = 1$ ; 2 –  $\zeta = 3$ ; 3 –  $\zeta = 10$

Форма изношенной поверхности гарнитуры не является симметричной при  $10^{-2} < \zeta < 10^2$ . При больших значениях  $\zeta$  форма износа приближается к симметричной. При прочих равных условиях в зависимости от параметра  $\zeta$  меняется глубина впадин (амплитуда волн).

Вязкоупругие свойства материала гарнитуры оказывают существенное влияние на формирование рельефа поверхности гарнитуры при изнашивании, причем форма поверхности существенно зависит от скорости скольжения ротора по статору.

Форма ножей гарнитуры в диапазоне скоростей относительного скольжения от  $10^{-3} l/T\epsilon$  до  $10^3 l/T\epsilon$  является не симметричной. Наиболее выраженная асимметрия достигается при скорости скольжения  $V=l/T\epsilon$ . Результаты проведенных исследований позволяют обоснованно подойти к проектированию, эксплуатации и повышению надежности ножевых размалывающих машин.

### Список литературы

1. Комаров В.И. Деформация и разрушение целлюлозно-бумажных материалов. - Архангельск: Изд-во Архангельского госуд. технич. ун-та, 2002. - 440 с.
2. Иванов С.Н. Технология бумаги. – М.: Лесная промышленность, 2006. – 696 с.
3. Бывшев А.В., Савицкий Е.Е. Механическое диспергирование волокнистых материалов. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1991. – 216 с.
4. Gorski, D., Hill J., Engstrand, P., Johansson, L. Reduction of energy consumption in TMP refining through mechanical pre-treatment of wood chips//Nord. Pulp Pap. Res. J. 2010. V. 25(2). P.156-161.
5. Fernando D., Muhic D., Engstrand P., Daniel G. Fundamental understanding of pulp property development under different thermomechanical pulp refining conditions as observed by a new method and SEM observation of the ultra structure of fibre surfaces//Holzforschung. 2011. V.65 (6). P.777-786.
6. Алашкевич Ю.Д. Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах: дис. ... д-ра техн. наук. - Красноярск, 1986.
7. Kang T., Somboon P., Paulapuro H. Fibrillation of mechanical pulp fibers//Pap. Puu 2006. V.88 (7). P. 409-411.
8. Daniel G., Bardage S., Fernando D., Hafren J., Ander P. Energy consumption in refining of Scots pine and Norway spruce TMP is governed by fibre morphology and ultra structure//Proceedings of the Int. Mech. Pulp. Conf. Sundsvall, Sweden, June 1-4. 2009. P. 82-86.

9. Konrad O. The effect of refining intensity on the water retention value // Ann. Warsaw Agr. Univ. Forest. and Wood Tech-nol. 2006. V.59. P. 132-136.
10. Luukkonen A., Olson J., Martinez D. Low Consistency Refining of Mechanical Pulp, Effect of Gap, Speed and Power// J. Pulp Paper Sci. 2010. V. 36. P. 28-34.
11. Вихарев С.Н. Контактное взаимодействие гарнитуры мельниц с волокнистым полуфабрикатом// Лесной журнал. - 2013. - №3. - С. 133-138.
12. Горячева И.Г. Контактная задача качения вязкоупругого цилиндра по основанию из того же материала// ПММ. – 1973(37). – № 5. – С. 877-885.
13. Вихарев С.Н., Душинина С.А. Модель волокнистой прослойки при размоле в дисковых мельницах// Лесной журнал. - 2014. - №2. – С. 116-122.
14. Ерыхов Б.П., Липцев В.Н., Чибирев В.Е. Исследование вязкоупругих свойств древесины применительно к размолу щепы // Лесной журнал. – 1979. - № 4. – С. 61-66.
15. Патент 108042 РФ, МПК D 21 D 1/30. Мельница для размолки волокнистых материалов / Вихарев С.Н., Агарков М.С., опубл. 10.09.2011, бюл. № 25, – 4 с.: ил.
16. Патент 134936 РФ, МПК D 21 D 1/30. Дисковая мельница /Вихарев С.Н., Микушина В.Н., опубл. 27.11.2013, бюл. № 33, – 4 с.: ил
17. Diagnosing Refiner Plate Failure Modes in Thermo-Mechanica, Pulpmg// J&L Fiber Services. OPTIMA. Technical Bulletin. 2003. № 1-2. - 4 p.
18. Демин П.П., Пашинский В.Ф., Киселев С.С. Стойкость гарнитуры дисковых мельниц. - М.: ВНИПИЭИлеспром, 1972. - 23 с.

---

УДК 676.164.8

## ПОЛУЧЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ СОЛОМЫ И ШЕЛУХИ РИСА

**Вураско Алеся Валерьевна,**  
д-р техн. наук, заведующая кафедрой,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [vurasko2010@yandex.ru](mailto:vurasko2010@yandex.ru)

**Симонова Елена Игоревна,**  
ассистент, ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет,  
г. Екатеринбург, E-mail: [bliznyakova1989@mail.ru](mailto:bliznyakova1989@mail.ru)

**Минакова Анастасия Рашитовна,**  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [galimova\\_ar@mail.ru](mailto:galimova_ar@mail.ru)

**Полиенко Ксения Сергеевна,**  
студент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [k.polienko@bk.ru](mailto:k.polienko@bk.ru)

**Ключевые слова:** целлюлоза, сорбционные материалы, окислительно-органосольвен-  
тная варка, шелуха, солома, недревесное сырье.

**Аннотация.** Исследовано влияние размолки технической целлюлозы из шелухи и соломы  
риса повышения сорбционной способности, адсорбционной способности и капиллярной впи-  
тываемости.

**OBTAINING SORPTION MATERIALS ON THE BASIS  
OF TECHNICAL CELLULOSE FROM STRAW AND RICE HUSK**

**Vurasko Alesya Valeryevna,**  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, head of the Department,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [vurasko2010@yandex.ru](mailto:vurasko2010@yandex.ru)

**Simonova Elena Igorevna,**  
assistant, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [bliznyakova1989@mail.ru](mailto:bliznyakova1989@mail.ru)

**Minakova Anastasiya Rashitovna,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [galimova\\_ar@mail.ru](mailto:galimova_ar@mail.ru)

**Polienko Ksenia Sergeevna,**  
student, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [k.polienko@bk.ru](mailto:k.polienko@bk.ru)

**Key words:** *cellulose, sorption materials, oxidative-organosolvent cooking, husk, straw, non-wood raw materials.*

**Abstract.** *The effect of grinding technical cellulose from rice husk and straw to increase sorption capacity, adsorption capacity and capillary absorbency is studied.*

В настоящее время большое внимание уделяется получению доступных сорбентов на основе технической целлюлозы, функциональные группы которых способны удерживать реагенты на поверхности материала, не мешая при этом визуальному колористическому определению содержания ионов металлов в загрязненных природных и сточных водах [1-5]. Помимо высоких сорбционных характеристик носитель на основе целлюлозы должен обладать нейтральным значением pH, хорошими впитывающими свойствами, прочностью, высокой белизной. В качестве дополнительной сырьевой базы для получения технической целлюлозы можно использовать однолетние растения [6-9] в частности солому и шелуху риса. Ранее проведенными исследованиями установлено [10], что целлюлоза из шелухи риса (ШР) обладает высокой сорбционной емкостью и короткими волокнами, не позволяющими получить прочный бумажный материал. В то же время целлюлоза из соломы риса (СР), наоборот, обладает относительно большой длиной волокна и приемлемыми сорбционными свойствами. В связи с этим, было бы интересно создать композиционный материал на основе двух волокнистых полуфабрикатов для получения сорбционного материала сочетающего прочностные и сорбционные характеристики.

Целью работы является получение композиционного сорбционного материала на основе технической целлюлозы из СР и ШР, полученной окислительно-органо-сольвентным способом.

Задачи: выбор и обоснование условий получения технической целлюлозы с минимальным содержанием минерального компонента из СР и ШР; получение и анализ целлюлозы; размол технической целлюлозы и составление композиции; анализ полученных композиционных материалов с точки зрения сорбционных свойств.

Солома и шелуха риса в своем составе содержит до 30 % минеральных компонентов от абсолютно сухого сырья (а.с.с.). Ранее проведенными исследованиями показано, что наличие неорганических веществ в целлюлозе снижает ее сорбционные свойства. Поэтому для удаления минерального компонента из СР при проведении окислительно-органо-сольвентной варки используют стадию щелочной обработки.

В качестве объектов исследования использовали ШР и СР (Краснодарский край, урожай 2015 г). Компонентный состав сырья представлен в табл.1.

Таблица 1

Компонентный состав сырья РШ и СР

Компоненты, %	СР	ШР
Целлюлоза Кюршнера-Хоффера [11]	43,6±1,0	38,6±1,0
Лигнин, ГОСТ 11960	22,3±0,2	31,3±0,2
Вещества, растворимые:		
- в спиртобензольной смеси [11];	5,1±0,5	2,0±0,5
- в воде [11]	3,7±0,5	11,0±0,5
Минеральные вещества [11]	13,7±0,1	16,9±0,1

Получение технической целлюлозы из СР и ШР проводили в две стадии: первая стадия – щелочная обработка, вторая – окислительно-органосольвентная варка [12]. Обе стадии проводили в лабораторной реакторной системе LR-2.ST.

На основании реализации двухуровневого двухфакторного полного факторного эксперимента, были получены экспериментально-статистические модели выхода волокнистого материала и содержания в них лигнина и минеральных компонентов. Для решения оптимизационной задачи был применен численный метод обобщенного приведенного градиента с использованием программы Excel «Поиск решений».

Щелочная обработка СР и ШР проводилась водным раствором NaOH при следующих условиях: гидромодуль 1:10; концентрация NaOH 0,69...1 н.; температура обработки 90 °С; продолжительность подъема температуры – 15 минут; продолжительность щелочной обработки 90...240 минут. Оработанный щелочной раствор сливали через сливной клапан реакторной системы.

Окислительно-органосольвентная варка ШР и СР проводилась равновесной перуксусной кислотой (рПУК) при условиях: жидкостный модуль – 1:10; температура обработки – 90 °С; продолжительность подъема температуры – 20 минут; продолжительность обработки – 90 мин; расход варочной композиции в перерасчете на рПУК 0,8 г на 1 г от массы а.с.с. Полученную техническую целлюлозу промывали и анализировали. Результаты представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что проведенная оптимизация щелочной обработки позволяет получить волокнистые продукты с заданными свойствами – минимальным содержанием золы, допустимым содержанием лигнина, относительно высоким выходом технической целлюлозы. Значения сорбционной способности, рН водной вытяжки и водоудержания позволяют рассматривать полученную техническую целлюлозу, как перспективный сорбционный материал.

Таблица 2

Выход и характеристики технической целлюлозы из ШР и СР

Показатели варки	СР	ШР
Выход технической целлюлозы, % от а.с.с.	56,8±0,5	56,5±0,5
Степень помола, °ШР	18	14
Содержание лигнина, % от а.с. целлюлозы ГОСТ 11960	2,5±0,2	3,0±0,2
Зольность, % от а.с. целлюлозы ГОСТ 18461	0,05±0,01	0,05±0,01
Белизна, % ГОСТ 7690	79,0±0,5	89,0±0,5
Сорбционная способность по йоду, % [13]	37,9±0,2	50,4±0,2
Значение рН водной вытяжки	6,5	6,8
Водоудержание, % [14]	220	200

Потому в работе для увеличения сорбционных свойств техническую целлюлозу подвергли размолу. Размол проводили в лабораторной мельнице типа PFI при следующих условиях: концентрация массы 10%, давление размала  $3,33 \pm 0,1$  Н на 1 мм длины ножа, частота вращения барабана  $24,3 \pm 0,5$  с<sup>-1</sup>, количество оборотов составляло от 2500...30000. Температура размалывающего сосуда и суспензии целлюлозы составляла  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ . Зависимость степени помола от продолжительности размала представлена на рис. 1.

Динамика размала технической целлюлозы из недровесного растительного сырья отличается от динамики размала традиционной древесной технической целлюлозы. Размол целлюлозы из СР можно описать тремя периодами: первый период характеризуется быстрым повышением степени помола – продолжительность его составляет до трех минут; второй период, степень помола поднимается медленнее это обусловлено внутренним фибриллированием волокон; третий период начинается с шестой минуты и характеризуется постепенным достижением степени помола  $60^\circ\text{ШР}$ .

Целлюлоза из ШР размалывается равномерно и достигает максимальной, в заданных условиях, степени помола –  $47,5^\circ\text{ШР}$  за 20 минут.

Из технической целлюлозы с различной степенью помола были изготовлены бумажные отливки следующего композиционного состава: 50% целлюлоза из соломы риса 50% целлюлоза из шелухи риса.

Полученные бумажные отливки известного композиционного состава анализировали по показателям: капиллярная впитываемость, сорбционная и адсорбционная способность. Результаты представлены на рис. 2-4.

Из представленных на рис. 2 результатов можно сделать следующие выводы: при постоянном содержании соломы риса 50 % в композиции в независимости от ее степени помола ( $38$ ;  $43,5$ ;  $53^\circ\text{ШР}$ ) капиллярная впитываемость изменяется в пределах погрешности измерений; при постоянном содержании соломы риса 50 % в композиции и добавлении к ней целлюлозы из шелухи риса с увеличивающейся степенью помола ( $35$ ;  $43,5$ ;  $47,5^\circ\text{ШР}$ ) капиллярная впитываемость снижается незначительно на  $1 \dots 2,5$  мм.

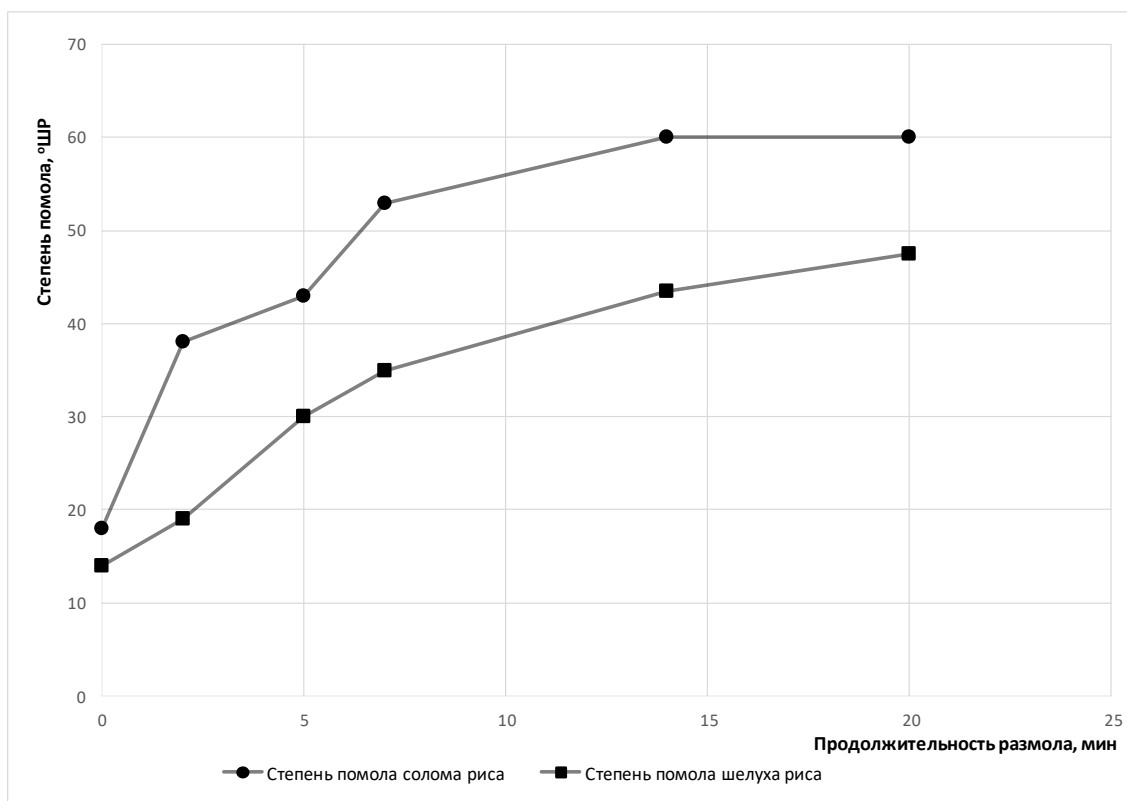


Рис.1. Динамика размала технической целлюлозы из СР и ШР



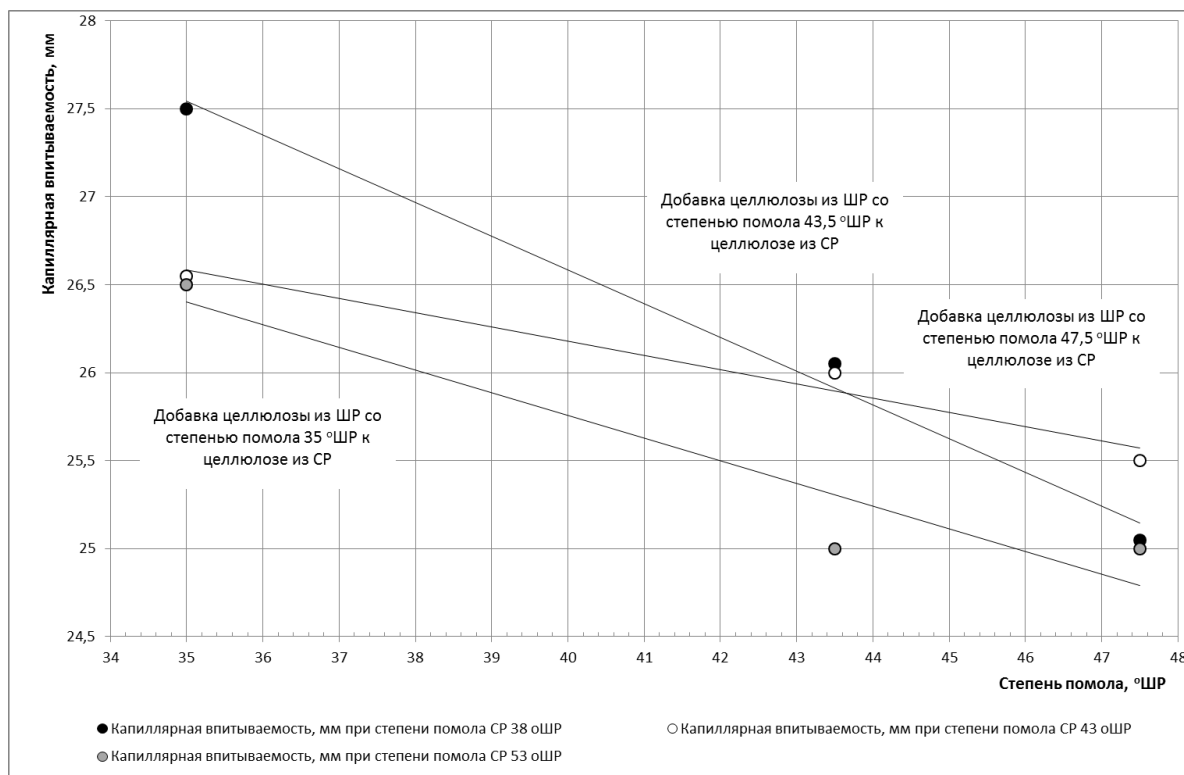


Рис. 2. Зависимость значения капиллярной впитываемости от степени помола технической целлюлозы

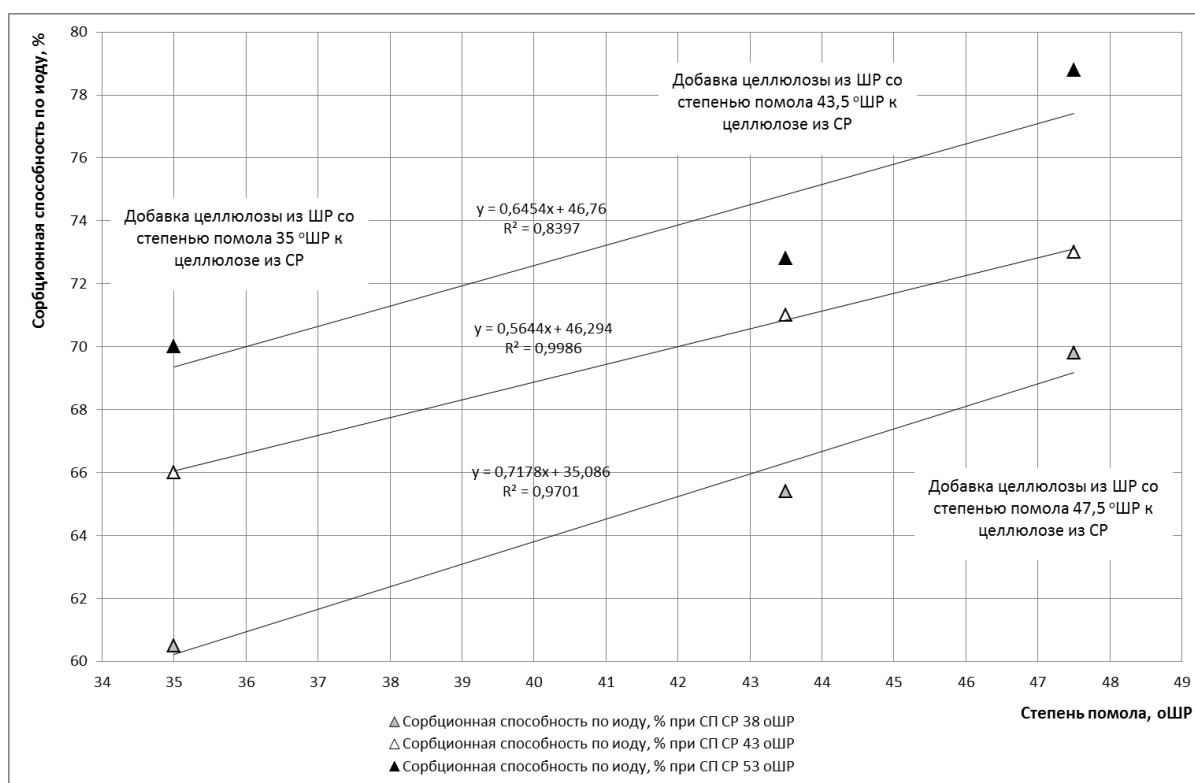


Рис. 3. Зависимость значений сорбционной способности по йоду от степени помола технической целлюлозы

На рис. 3 представлена зависимость значений сорбционной способности по йоду от степени помола технической целлюлозы. Из рис. 3 видно, что при увеличении степени помола целлюлозы из соломы риса в композиции, сорбционная способность по йоду увеличивается (при повышении степени помола на 15 °ШР сорбционная способность по йоду увеличивается в среднем на 8%). Представленные графические зависимости, описанные линиями тренда, показывают, что при постоянном содержании соломы риса 50 % в композиции и добавлении к ней целлюлозы из шелухи риса с увеличивающейся степенью помола сорбционная способность по йоду так же увеличивается. Следовательно, на сорбционную способность по йоду оказывает влияние, как степень помола целлюлозы из ШР, так и степень помола целлюлозы из СР.

На рис. 4 представлена зависимость значений адсорбционной способности по метиленовому-голубому (МГ) от степени помола технической целлюлозы. Из рис. 4 видно, что при постоянном содержании соломы риса 50 % в композиции в независимости от ее степени помола (38; 43; 53 °ШР) адсорбционная способность по МГ находится в пределах погрешности измерений. При постоянном содержании соломы риса 50 % в композиции и добавлении к ней целлюлозы из шелухи риса с увеличивающейся степенью помола адсорбционная способность по МГ увеличивается. Наилучшие результаты достигаются при добавлении целлюлозы из ШР при максимальной степени помола (47,5 °ШР) в независимости от степени помола целлюлозы из СР.

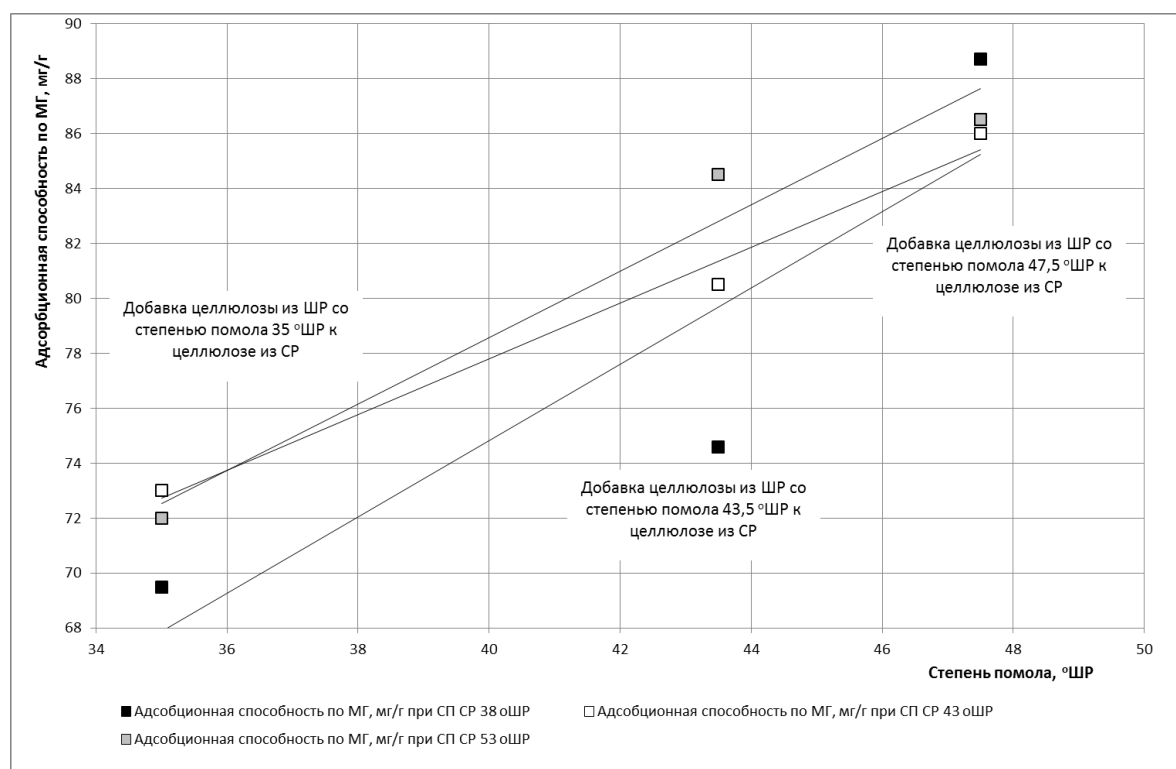


Рис. 4. Зависимость значений адсорбционной способности по МГ от степени помола технической целлюлозы

#### Выводы по работе:

- в условиях оптимизации щелочной обработки и последующей окислительно-органо-растворительной варки получена техническая целлюлоза из СР и ШР, с минимальным содержанием минерального компонента (0,05% от а.с.ц.); выходом (СР – 56,8 %, ШР – 56,8 % от а.с.ц.), содержанием остаточного лигнина (СР – 2,5 %, ШР – 3,0 % от а.с. целлюлозы); произведен размол технической целлюлозы и составлены композиции из двух волокнистых полуфабрикатов с различной степенью помола;

- установлено, что капиллярная впитываемость не зависит от степени помола целлюлозы из СР, а от степени помола целлюлозы из ШР снижается незначительно;
- сорбционная способность по йоду зависит от степени помола как целлюлозы из ШР, так и от степени помола целлюлозы из СР. С увеличением степени помола сорбционная способность по йоду увеличивается.
- адсорбционная способность по МГ при постоянном содержании СР 50% в композиции и добавлении к ней целлюлозы из ШР с увеличивающейся степенью помола (35; 43,5; 47,5 °ШР) увеличивается. Наилучшие результаты достигаются при добавлении целлюлозы из ШР при максимальной степени помола (47,5 °ШР) в независимости от степени помола целлюлозы из СР.

### Список литературы

1. Маслакова Т.И., Первова И.Г., Маслаков А.А., Симонова Е.И., Вураско А.В. Исследование особенностей иммобилизации гетарилформазанов на целлюлозосодержащие матрицы // Сорбционные и хроматографические процессы. 2016. Т. 16. № 6. С. 847-857
2. Маслакова Т.И., Первова И.Г., Желновач А.В., Маслаков П.А., Симонова Е.И., Вураско А.В. Сорбционные и физико-химические характеристики целлюлозосодержащих сорбентов, модифицированных гетарилформазанами // Сорбционные и хроматографические процессы. 2017. Т. 17. № 3. С. 398-406.
3. Никифорова Т.Е., Козлов В.А. Сорбция катионов меди (II) целлюлозосодержащим сорбентом из водных сред // Физикохимия поверхности и защита материалов / 2012. Т. 48., № 3. С. 262-266.
4. Багровская Н. А., Алексеева О. В., Рожкова О. В., Родионова А. Н., Лилин С. А. Извлечение ионов тяжелых металлов целлюлозосодержащими материалами // Физикохимия поверхности и защита материалов / 2008. Т. 44., № 4. С. 423-426.
5. Zimmermann Tanja, Sehaqui Houssine, Tingaut Philippe Функциональные материалы из нановолокон целлюлозы. Functional materials from cellulose nanofibers // Chimia. / 2015. № 4. – С. 232. – Англ.
6. Митрофанов Р.Ю., Будаева В.В., Денисова М.Н., Сакович Г.В. Гидротропный метод получения целлюлозы из мискантуса // Химия растительного сырья. 2011. №1. С.25-32.
7. Рахманбердиев Г.Р., Муродов М.М. Разработка технологии получения целлюлозы из растений топинамбура // “Итисодиёт ва инновацион технологиялар” илмий электрон журнали. 2011. № 2. С.1-11.
8. Вураско А.В., Минакова А.Р., Дрикер Б.Н., Сиваков В.П., Косачева А.М. Технология получения целлюлозы из недревесного растительного сырья // Химия растительного сырья. 2010. № 2. С. 165-168.
9. Будаева В.В., Митрофанов Р.Ю., Золотухин В.Н., Сакович Г.В. Новые сырьевые источники целлюлозы для технической химии // Вестник Казанского Технологического Университета. 2011г. №7. С. 205-212.
10. Симонова Е.И., Вураско А.В., Циликowa А.О., Шаповалова И.О., Первова И.Г., Маслакова Т.И. Получение сорбционных материалов на основе технической целлюлозы из недревесного растительного сырья // V Всероссийской отраслевой научно-практической конференция «Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности», Пермь, 2017 г. – 24-25 марта – С. 143-151.
11. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: 1991. 320 с.
12. Шаповалова И.О. Получение и свойства технической целлюлозы из рисовой шелухи, полученной в лабораторной реакторной системе LR-2.ST / И.О. Шаповалова, Е.И. Симонова, А.О. Циликowa, А.В. Вураско // Fundamental science and technology - promising developments X: Proceedings of the Conference. North Charleston, 12-13.12.2016, Vol. 1 – North Charleston, SC, USA: Create Space, 2016. P. 105-107.

13. Минакова А.Р. Получение целлюлозы окислительно-органо-со- левентным спосо- бом при переработки растительного сырья: дис. канд. техн. наук – г. Архангельск: АГТУ. – 2008 -151с.

14. Справочник бумажника Т.1 / Изд.2-е перераб. и доп. - М.: Изд-во Лесная пром - ть, 1964. – 807 с.

15. Смолин А.С., Бисальская М., Шабель С., Шабиев Р.О., Влияние размола и фрак- ционирования на электроповерхностные свойства целлюлозных гидросуспензий, Химия рас- тительного сырья, 2011, №3, С. 183-192.

---

УДК 661.716

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРАМИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА И ЗОЛОТА ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ БУМАГИ

Ибраева Жанар Ершатовна,  
канд. хим. наук, доцент, Сатпаев Университет,  
г. Алматы, E-mail: [zhanar-ibraeva@mail.ru](mailto:zhanar-ibraeva@mail.ru)

Мырзабекова Назым Ерланкызы,  
магистрант, Сатпаев Университет,  
г. Алматы, E-mail: [nazimmirzabekova@mail.ru](mailto:nazimmirzabekova@mail.ru)

Калдыбаева Айжан Далелбеккызы,  
магистрант, Сатпаев Университет,  
г. Алматы, E-mail: [aizhan\\_95k@mail.ru](mailto:aizhan_95k@mail.ru)

**Ключевые слова:** полимер-протектированные наночастицы серебра и золота, модифи- кация бумаги.

**Аннотация.** Полимер-протектированные наночастицы серебра и золота использо- ваны для обработки различных сортов бумаги. Методами сканирующей электронной и зондо- вой микроскопии изучена структура и морфология бумаги. Показана возможность исполь- зования коллоидных растворов серебра и золота для придания бумаге дополнительной сте- пени защиты.

## PROSPECTS OF APPLICATION POLYMER-PROTECTED NANOPARTICLES OF SILVER AND GOLD FOR PAPER SURFACE MODIFICATION

Ibrayeva Zhanar Rishatovna,  
Ph.D. of Chemical Sciences, Associate Professor,  
Satpayev University, Almaty, E-mail: [zhanar-ibraeva@mail.ru](mailto:zhanar-ibraeva@mail.ru)

Myrzabekova Nazim Erlankyzy,  
master student, Satpayev University, Almaty, E-mail: [nazimmirzabekova@mail.ru](mailto:nazimmirzabekova@mail.ru)

Kaldybaeva Aizhan Callbacks,  
master student, Satpayev University, Almaty, E-mail: [aizhan\\_95k@mail.ru](mailto:aizhan_95k@mail.ru)

**Key words:** polymer-protected silver and gold nanoparticles, paper modification.

**Abstract.** Polymer-protected nanoparticles of silver and gold have been used for treatment of various kinds of papers. Structure and morphology of papers were studied by scanning electron and atomic force microscope. A possible application of colloid nanoparticles for additional protecting of papers was demonstrated.

В последние годы совместными усилиями химиков и физиков созданы различные типы наномасштабных структур, включающих в состав строительных блоков наночастицы металлов в комбинации с функциональными полимерами.

Разработка методов получения полимер-протектированных наночастиц металлов с целью использования их в качестве нанокатализаторов, антибактериальных препаратов, электропроводящих и магниточувствительных материалов, препаратов с высокой биологической активностью представляет большой научно-практический интерес [1,2].

При этом одной из важнейших проблем является синтез достаточно стабильных наночастиц заданного размера, сохраняющих в течение длительного времени высокую химическую или биологическую активность [3].

Необходимость стабилизации наночастиц металлов гидрофильными полимерами продиктована тем, что зачастую наночастицы, имеющие большую величину избыточной поверхностной энергии, могут мгновенно пассивироваться за счет адсорбционных процессов, либо коагуляции.

Наночастицы успешно применяются в изготовлении текстиля и глиняных изделий, недавно подобная технология распространилась и на целлюлозу. Модификация бумаги наночастицами дает возможность получать продукцию с целым спектром новых свойств: магнитную, электропроводящую, по прочности приближающуюся стали и оптически прозрачную бумагу [4].

В настоящей статье сообщается о результатах модификации различных видов бумаг (лабораторных образцов и фабричного производства) наночастицами серебра и золота с целью придания ей дополнительной степени защиты.

Коллоидные растворы золота и серебра готовили по методике, описанной в работе [5]. Для этого водный раствор  $\text{HAuCl}_4$  (2,5 мл, 0,5 ммоль) кипятили с обратным холодильником в течение 5...10 мин. Затем в кипящий раствор  $\text{HAuCl}_4$  добавляли 1,5 мл, 40 ммоль акрилата натрия и смесь выдерживали в течение 30 мин при 50...60 °С.

В результате этого получили раствор малинового цвета. Полученный аналогичным образом коллоидный раствор серебра имел серо-зеленый цвет (рис.1). Образцы хранили в темном месте.



Рис. 1. Коллоидные растворы серебра (слева) и золота (справа)

В качестве модифицируемой поверхности использовали 10 видов бумаги, отличающиеся между собой по плотности и цвету, которые пронумеровали от 1 до 10: №1 – бумага из целлюлозы, полученной из конопли сорной (методика получения целлюлозы описана в [6, 7]). Бумажные образцы получали согласно ISO 5269-2:2004.

На рис. 2 представлены полученные образцы бумаг из недревесного растительного сырья с различным содержанием проклеивающего вещества.

Для экспериментов по модификации поверхности бумаги наночастицами золота и серебра выбрали образец бумаги из целлюлозы конопли с 3 об.% клея и обозначили как № 1, № 2 – матовая 180 г/м<sup>2</sup>; № 3 – глянцево-мелованная 160 г/м<sup>2</sup>; № 4 – офсетная 120 г/м<sup>2</sup>; № 5 – офсетная 80 г/м<sup>2</sup>; № 6 – офсетная 160 г/м<sup>2</sup>; № 7 – глянцевая; № 8 – ВХИ 70 г/м<sup>2</sup>; № 9 – офсетная 65 г/м<sup>2</sup>; №10 – карцевая 78 г/м<sup>2</sup>.

Надписи «Ag» и «Au» на различные сорта бумаги наносили коллоидными растворами золота и серебра. Появление надписей на бумагах наблюдали в видимом и ультрафиолетом свете. Структуру и морфологию бумаги № 2 и № 3 до и после пропитки коллоидными растворами золота и серебра исследовали на сканирующем электронном микроскопе «JSM-6490 LA» и зондовом микроскопе «Интегра Прима».

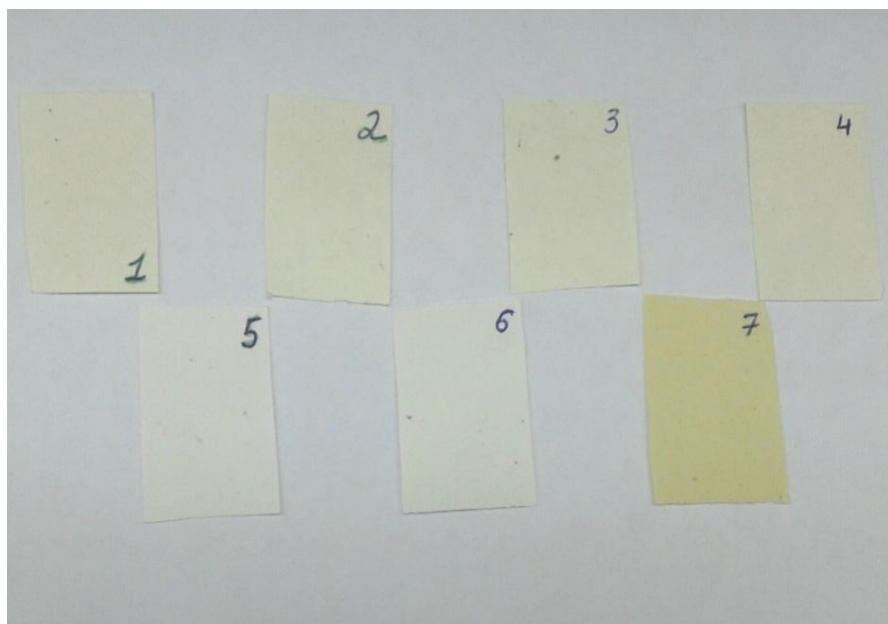


Рис.2. Образцы бумаг из: целлюлозы конопли без содержания клея (1); целлюлозы конопли с 1 об.% клеем марки «BASF» (2); целлюлозы конопли с 2 об.% клея марки «BASF» (3); целлюлозы конопли с 3 об.% клея марки «BASF» (4); целлюлозы камыша без содержания клея (5); целлюлозы камыша с 1 об.% клея марки «BASF» (6); целлюлозы рисовой шелухи без содержания клея (7)

Полосы поглощения коллоидных частиц металлов в видимой части спектра обусловлены межзонными электронными переходами и резонансным поглощением плазмонов [8]. Об этом свидетельствует появление полосы поглощения наночастиц серебра в видимой области спектра с максимумом при 640 нм.

В табл.1 суммированы результаты освещения различных сортов бумаги видимым и ультрафиолетовым (УФ) светом после того, как на ее поверхность нанесены надписи «Ag» и «Au» водными растворами наночастиц серебра и золота, стабилизированных полимером.

Таблица 1

Визуальное проявление надписей «Ag» и «Au» при освещении дневным и УФ светом\*

№ бумаги	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Видимый свет	Надписей совсем не видно									
УФ свет	+	—	+++	--	--	--	++	+	--	--

\*) — — совсем не видно, — плохо видно, + видно, ++ хорошо видно, +++ очень хорошо видно.



На рис. 3 представлены фотографии бумаги № 3 и № 7 при освещении их дневным и УФ светом. Надписи «Ag» и «Au» не видны при дневном освещении, но хорошо проявляются в ультрафиолете.

Это, по-видимому, связано с поглощением УФ лучей наночастицами металлов. Полученные результаты дают основание полагать, что наночастицы серебра и золота, стабилизированные полимером, могут быть использованы для придания бумаге дополнительной степени защиты.

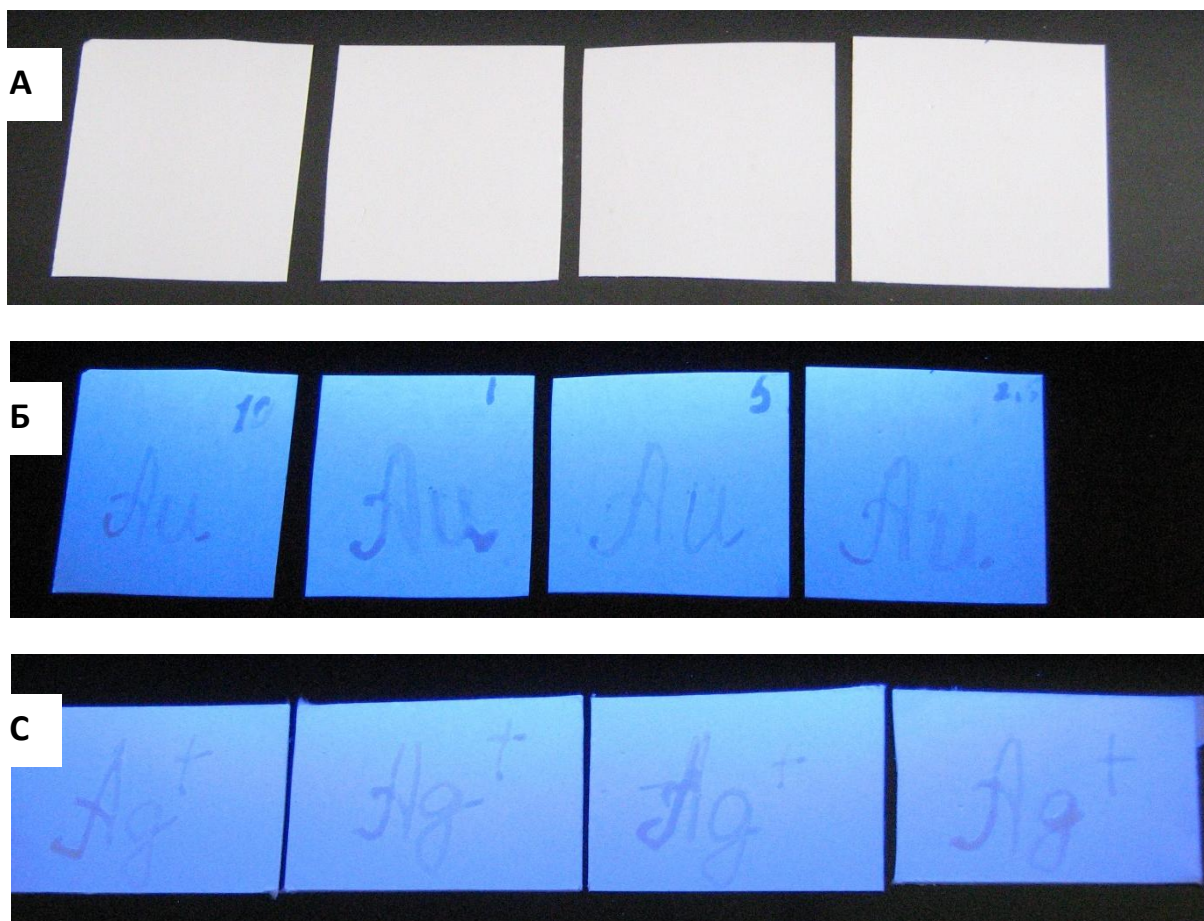


Рис. 3. Появление надписи на бумагах № 3 и № 7, нанесенной наночастицами золота (Б) и серебра (С), при освещении дневным (А) и ультрафиолетовом светом (Б, С).

Для выяснения причины проявления надписей на бумагах проведены исследования поверхностной структуры и морфологии образцов № 2 и № 3, в которых надписи практически не проявляются и очень хорошо проявляются. Как видно из рис. 4, бумага № 2 имеет микропористую структуру.

Между переплетенными волокнами бумаги имеются микропоры, достигающие микронных размеров.

Тогда как поверхностный слой бумаги № 3 имеет равномерную структуру. Исходя из этого, можно предположить, что при нанесении растворов наночастиц металлов на поверхность бумаги № 2, они за счет капиллярного эффекта полностью поглощаются и распространяются во весь объем образца. Тогда как наночастицы серебра и золота остаются на поверхности бумаги №3 из-за ее плотной структуры.

Это также хорошо видно из данных рис. 5. Если микроструктура исходной и обработанной наночастицами серебра бумаги № 2 трудно различима, то на поверхности

плотной глянцевой бумаги № 3, обработанной наночастицами золота, хорошо видны пятна, вероятно относящиеся к агрегированным наночастицам золота.

Поверхность исходной и обработанной наночастицами золота бумаги № 3 сравнивается на рис. 6. Морфология поверхности бумаги № 3 до и после обработки наночастицами золота сильно отличается.

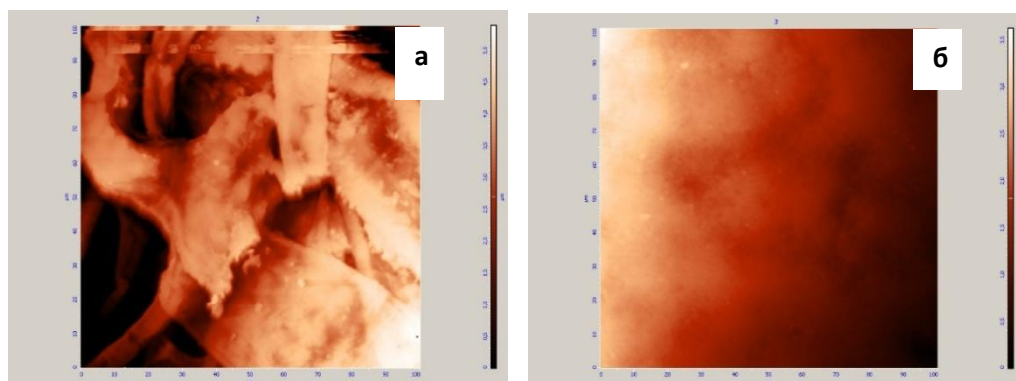


Рис.4. Микрофотографии исходной бумаги № 2 (а) и № 3 (б). Увеличение в  $10^4$  раз

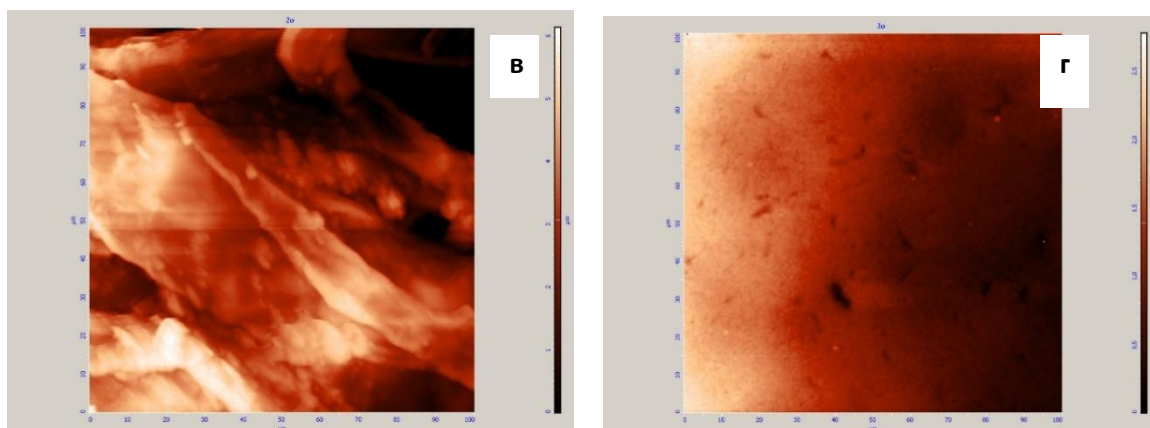


Рис.5. Микрофотографии бумаги № 2 (в) и № 3 (г), на поверхность которой нанесены растворы наночастиц серебра (в) и золота (г). Увеличение в  $10^4$  раз

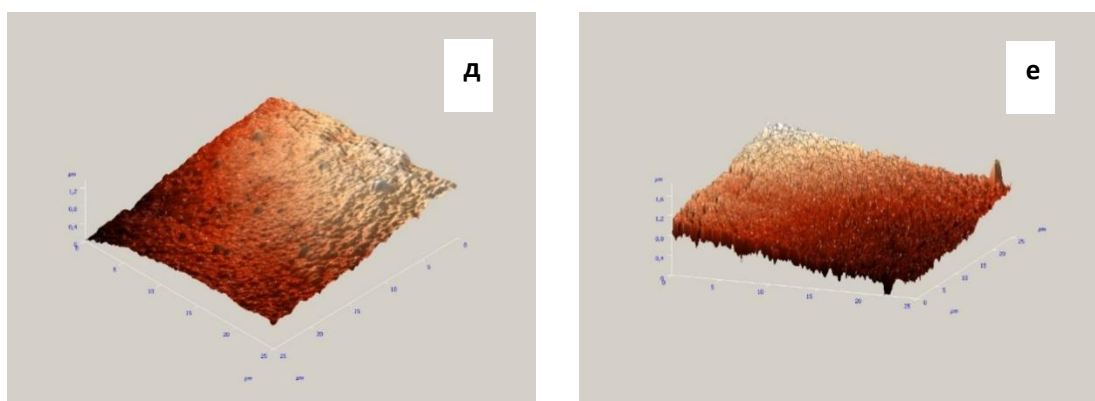


Рис. 6. Поверхностная морфология исходной (д) и обработанной наночастицами золота (е) бумаги № 3

Во-первых, толщина поверхностного слоя бумаги после обработки значительно больше по сравнению с исходной. Во-вторых, ее профиль значительно усложнен появлением впадин и выступов. На основании этих результатов можно предположить, что наночастицы золота и серебра преимущественно иммобилизованы на поверхности плотной бумаги №3 и в объеме пористой бумаги №2. При этом роль полимера, по всей вероятности, сводится к улучшению адгезии наночастиц металлов в объеме и на поверхности бумаги № 2 и № 3.

Таким образом иммобилизация наночастиц серебра и золота на поверхность бумаги зависит от ее структуры и морфологии. Процесс нанесения наночастиц на бумагу и свечения в ультрафиолетовом свете имеет перспективу использования в полиграфии для создания дополнительных степеней защиты документов.

### Список литературы

1. Bekturov E.A., Kudaibergenov S.E. Catalysis by Polymers. – Heidelberg: Huthig and Wepf Verlag Zug, 1996. 153 p.
2. Koetz J., Kosmella S. Polyelectrolytes and Nanoparticles. – Berlin: Springer-Verlag, 2007, 105 p.
3. Ершов Б.Г. Наночастицы металлов в водных растворах: электронные, оптические и каталитические свойства// Рос. Хим. Ж.- 2001.- Т. 45.- №3.- С. 20-30.
4. Nogi M., Iwamoto S., Nakagito A.N., Yano H.// Adv.Mater.- 2009.- V.21.- P.1595-1598.
5. Hussain I., Brust M., Papworth A. J.// Langmuir.- 2003.-V.19.- P.4831-4835.
6. Moran J. I., Alvarez V. A., Cyrus V. P., Vazquez A. Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers // Cellulose. – 2008. – V. 15, № 1. – P. 149-159.
7. Шахворостов А., Ибраева Ж.Е. Кудайбергенов С. Исследование физико-химических свойств целлюлозных материалов, полученных из недровесного однолетнего растительного сырья// Новости науки Казахстана.- 2017.- №3. - С. 132-140.

---

УДК 676.1:661.728

### ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ МАКУЛАТУРНЫМ ВОЛОКНОМ

**Ковернинский Иван Николаевич,**  
д-р техн. наук, профессор,  
ООО «Экотол Сервис», г. Москва, E-mail: [kovern@list.ru](mailto:kovern@list.ru)

**Ключевые слова:** флютинг, лайнер, оборотная вода, макулатурное волокно, адсорбция, заряд частиц, электрокинетический потенциал.

**Аннотация.** Изучено влияние адсорбции заряженных частиц оборотной воды макулатурным волокном; найдены варианты обработки макулатурной массы катионными реагентами Полиамин ССК и Ультрафикс Р 127, повышающие полноту улавливания мелкого волокна и анионных частиц волокном в оборотной воде в процессе получения бумаги.

### THE STUDY OF ADSORPTION OF CHARGED PARTICLES RECYCLED WATER RECYCLED FIBER

**Koverninskiy Ivan Nikolaevich,**  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor,  
LLC «Ecotel Service», Moscow, E-mail: [kovern@list.ru](mailto:kovern@list.ru)

**Key words:** fluting, liner, reused water, recycled fiber, adsorption, charge of particles, Zeta potential.

**Abstract.** *The effect of adsorption of charged particles recycled water recycled fiber; treatment options dip pulp cationic reagents Polyamine SSK and Ultrafix R 127, increasing the completeness of capture of small fiber particles and the anionic fiber in a circulating water in the process of obtaining paper.*

В последние десятилетие имеет место значительный рост производства тароупаковочных видов бумажно-картонной продукции, примерно 5...7 % в год. Наиболее существенно развивается производство тарного картона, к которому относят материалы: бумагу для гофрирования (флутинг), картон для плоских слоев гофрированного картона (лайнер), гофрированный картон и изделия из него – гофрированная тара.

Сырьем для производства этих видов материалов является как первичное, так и вторичное волокно из макулатуры, по объему потребления не уступающее первичному волокну [1]. Макулатурное волокно по отношению к первичному волокну, является его производным, так его получают из бумажно-картонной макулатуры различных марок и сортов [2].

Для производства тарного картона используется макулатура группы Б, марки МС-5Б. К ней относят отходы от производства и потребления тарного картона.

Использование именно этой марки макулатуры обусловлено тем, что волокнистый полуфабрикат из макулатуры МС-5Б (макулатурное волокно) отличается наиболее высокими показателями механической прочности.

Макулатурная масса отличается высоким содержанием мелкого волокна, грубодисперсных и коллоидных волокнистых и не волокнистых частиц, которые составляют большую часть взвеси в оборотной воде. Эту взвесь в воде стремятся уловить волокном или иными способами.

В данной работе приготовленную макулатурную массу и оборотную воду обрабатывали химикатами, с целью найти варианты максимального улавливания частиц волокном. Проводилась раздельная обработка макулатурной массы и фильтрата химикатами. Химикаты также дозировали последовательно через равные промежутки времени (10...15 мин.) в каждую часть массы.

Фильтрат обрабатывался катионным химикатом до перезарядки частиц. Полученным фильтратом вновь разбавлялась масса, и проводилось дальнейшее измерение электрокинетических параметров и изготовление лабораторных образцов. Измерение электрокинетических параметров (ЭКП) производилось после добавления каждого отдельного химиката.

Определение ЭКП проводили на определение катионной потребности (КП) массы на аппарате Mutek PCD-04; определение дзета-потенциала на аппарате Mutek SZP-06.

Макулатурную массу подвергали размолу до достижения необходимой степени помола. Размол проводили на лабораторной мельнице PFI при концентрации 10%, предназначенной для размолы целлюлозы в стандартизированных лабораторных условиях и разделения волокна, соответствует требованиям следующих стандартов: ISO 5264-2; DIN EN 25264-2; SCAN C 24; TAPPI T 248; PAPTAC C.7. В данном случае размолу подвергалась только масса ДВФ (исходная 22 °ШР). Определение степени помола и изготовление лабораторных отливок проводили в соответствии с ГОСТ 14363.4-89. При этом степень помола и скорость обезвоживания определяли на аппарате для определения степени помола целлюлозы по Шоппер-Риглеру фирмы RTI. Отливки массой 140 г/м<sup>2</sup> изготавливали на листоотливном аппарате типа Рапид-Кеттен BBS-2.

Перед физико-механическими испытаниями образцы кондиционировали согласно ГОСТ 13523-78 (относительная влажность 50±2 %; температура 23±2 °С) не менее 4 часов. Для оценки прочности образцов определяли – сопротивление продавливанию; сопротивление плоскостному сжатию гофрированного образца; сопротивление разрыву лабораторных образцов.

Схема проведения экспериментальной части с нефракционированной массой представлена на рис.1.

Результаты измерения показателей массы, фильтрата и лабораторных отливок бумаги представлены в табл.1.

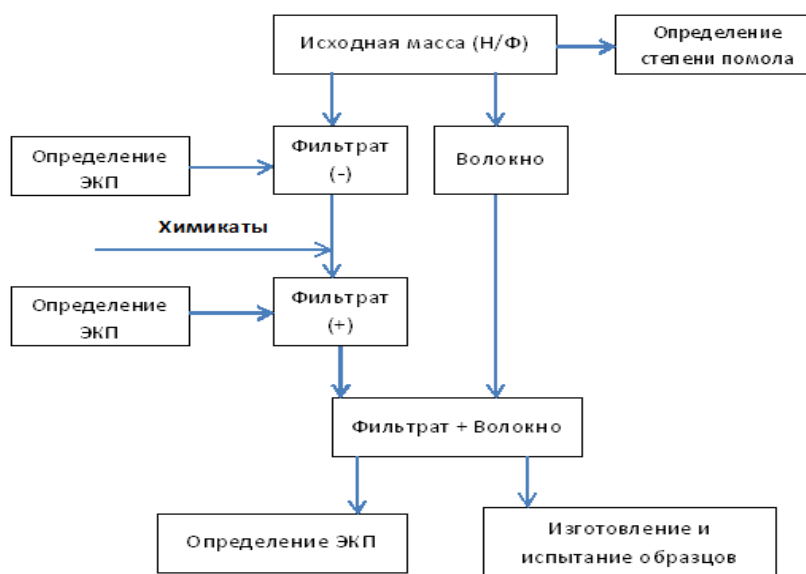


Рис.1. Схема подачи катионного химического реагента в фильтрат макулатурной массы

Таблица 1

Результаты анализа массы, фильтрата и отливок бумаги

Химикаты	Анализ массы и фильтрата		Анализ отливок				
	$\zeta$ , мг-экв/г	Фильтрат, КП, мг-экв/л	Разрывная длина, м	Жесткость при растя- жении, кН/м	Сопротивление про- давлению, кПа	$CMT_{30,(12,7/15,0)H}$	Поверхностная впиты- ваемость воды, $г/м^2$
Всходная масса (фильтрат)	-	1,300 (Kt)	2975	455	275	124/153	136
Фильтрат + По- лиамин ССК (2,8 кг/т)	-	2,360 (An)					
Фильтрат + масса	- 8,2	0,313 (Kt)					
исходная масса (фильтрат)	-	1,339 (Kt)	3465	485	241	121/142	143
Фильтрат + Ульт- рафикс Р 127 (2 кг/т)	-	0,801 (An)					
Фильтрат + масса	-7,6	0,359 (Kt)					



Как видно в табл.1, добавление катионного химиката к фильтрату массы и последующего разбавления этим фильтратом массы, позволяет уменьшить КП с 1,300 мг-экв./л до 0,313 мг-экв./л. Примерно по той же закономерности влияет катионный фиксатор «Ультрафикс». Физико-механические характеристики отливок бумаги остаются удовлетворительными.

#### Список литературы

1. Дулькин, Д.А. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги / Д.А. Дулькин, В.А. Спиридонов, В.И. Комаров. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 1118 с.
2. ГОСТ 10700–97. Макулатура бумажная и картонная. Технические условия/ Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.– Минск, 1997.-12 с.

---

УДК 539.233

### ВЛИЯНИЕ АМИЛОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ И СПОСОБА ПРОПИТКИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАРТОНА

Михайлова Ольга Сергеевна,  
аспирант, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, г. Казань, E-mail: [olga1.83@mail.ru](mailto:olga1.83@mail.ru)

Крякунова Елена Вячеславовна,  
канд. биол. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, г. Казань, E-mail: [Oscillatoria@rambler.ru](mailto:Oscillatoria@rambler.ru);

Канарский Альберт Владимирович,  
д-р техн. наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, г. Казань, E-mail: [alb46@mail.ru](mailto:alb46@mail.ru)

Казаков Яков Владимирович,  
д-р техн. наук, доцент,  
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: [j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru)

Дулькин Дмитрий Александрович,  
д-р техн. наук, профессор,  
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: [dmdulkin@yandex.ru](mailto:dmdulkin@yandex.ru)

Романова Анастасия Николаевна,  
аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: [anastasiaromanov@gmail.com](mailto:anastasiaromanov@gmail.com)

**Ключевые слова:** картон, крахмал картофельный модифицированный, амилолитические ферменты, поверхностная пропитка, проклейка в массе.

**Аннотация.** Показано, что поверхностная пропитка картона крахмалом, модифицированным ферментом изоамилазой, приводит к значимому увеличению основных физико-механических показателей картона. Однако при пропитке в массе значимые улучшения прочностных характеристик наблюдаются для образцов картона, пропитанных крахмалом после обработки ферментом амилазой.



## THE INFLUENCE OF AMYLOLITHIC ENZYMES AND IMPREGNATION METHOD ON CARDBOARD STRENGTH CHARACTERISTICS

Mihailova Olga Sergeevna,  
post-graduate student, Kazan National Research Technological University,  
Kazan, E-mail: [olga1.83@mail.ru](mailto:olga1.83@mail.ru)

Kryakunova Elena Vyacheslavovna,  
Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor, Kazan National Research  
Technological University, Kazan, E-mail: [Oscillatoria@rambler.ru](mailto:Oscillatoria@rambler.ru)

Kanarskii Albert Vladimirovich,  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor,  
Kazan National Research Technological University, Kazan, E-mail: [alb46@mail.ru](mailto:alb46@mail.ru)

Kazakov Yakov Vladimirovich,  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Associate Professor,  
Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, E-mail: [j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru)

Dulkin Dmitrii Aleksandrovich,  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor,  
Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, E-mail: [dmdulkin@yandex.ru](mailto:dmdulkin@yandex.ru)

Romanova Anastasiia Nikolaevna,  
post-graduate student,, Northern (Arctic) Federal University,  
Arkhangelsk, E-mail: [anastasiiaromanov@gmail.com](mailto:anastasiiaromanov@gmail.com)

**Key words:** *cardboard, potato modified starch, amylolytic enzymes, surface impregnation, stuff sizing.*

**Abstract.** *It was shown that surface impregnation of cardboard with starch, modified with an isoamylase enzyme, leads to a significant increase in the basic physical and mechanical properties of cardboard. However, when there is stuff sizing, significant improvements in strength characteristics are observed for cardboard samples impregnated with starch after enzyme treatment with amylase.*

Для придания дополнительной физико-механической прочности бумагу и картон пропитывают специальными веществами или наносят дополнительные слои из натуральных или синтетических материалов. Применяют два способа обработки бумаги и картона: проклейку в массе и поверхностную проклейку. Крахмал является одним из наиболее распространенных связующих веществ, используемых в производстве бумаги и картона. Однако крахмал легко подвергается модификации с получением продуктов, обладающими новыми полезными свойствами для применения в производстве бумаги и картона [1]. Фермент  $\alpha$ -амилаза гидролизует  $\alpha$ -1,4-гликозидные связи в крахмале и имеет выраженное сродство к гликозидным связям, удаленным от конца молекулы. Ферменты изоамилаза и пуллулаза катализируют гидролиз в разветвленных  $\alpha$ -1,6-гликозидных связях амилопектина, что ведет к появлению линейных олигосахаридов, содержащих  $\alpha$ -1,4-гликозидные связи [2].

Для изготовления отливок образцов картона массой 140 г/м<sup>2</sup> использовалась сульфатная небеленая целлюлоза ОАО «МЦБК».

*Подготовка образцов для поверхностной пропитки.* Волокнистая масса (длина волокна 95 дцг) размалывалась в лабораторном ролле до степени помола 32 °ШР. Отливки картона изготавливались на листоотливном аппарате. После отлива образцы прессовались при давлении 1,5 кгс/см<sup>2</sup> и затем высушивались при температуре 105-115°C.

Полученные образцы размером 20×20 см пропитывались крахмалом картофельным, предварительно обработанным одним из амилолитических ферментов: амилазой, изоамилазой *Pseudomonas amylofermentosa* и пуллулазой *Bacillus licheniformis* (Optimax L-1000). По-

сле поверхностной пропитки образцы картона высушивались контактным способом до конечной влажности.

*Подготовка образцов для проклейки в массе.* Волокнистая масса (длина волокна 95 дцг) размалывалась в лабораторном ролле до степени помола 32 °ШР. К ней добавлялся крахмальный клейстер, предварительно обработанный одним из амилолитических ферментов. Отливки картона изготавливались на листоотливном аппарате. После отлива образцы прессовались при давлении 1,5 кгс/см<sup>2</sup> и затем высушивались при температуре 105-115 °С. Полученные образцы размером 20×20 см высушивались контактным способом до конечной влажности.

*Ферментативная обработка крахмала.* Суспензию крахмала с концентрацией сухих веществ (СВ) 2 % клейстеризовали, остужали и вносили один из ферментов в расчете 200 единиц активности на 1 г СВ. Затем крахмальный клейстер с внесенными ферментами выдерживали в течение 3 часов при температуре 50 °С и постоянном перемешивании.

*Физико-механические испытания материалов.* Испытание материалов на растяжение проводили согласно ИСО 1924–2–85 [3] на лабораторном испытательном комплексе, включающем разрывную машину ТС 101–0,56 (г. Иваново) и компьютер [4, 5]. Испытывались образцы шириной 15 мм при расстоянии между зажимами 50 мм со скоростью (20±1) мм/мин. Определение деформационных свойств материалов проводили по методикам, разработанным на кафедре Технологии целлюлозно-бумажного производства Северного (Арктического) федерального университета, с получением графика зависимости «напряжение–деформация». Математическую обработку результатов проводили по методике Комарова-Казакова.

*Влияние поверхностной пропитки биомодифицированным крахмалом на физико-механические свойства картона.* Деформационные свойства картона при поверхностной пропитке характеризуют кривые «нагрузка–удлинение», получаемые при испытании образцов материала при растяжении (рис. 1). Как видно из данных, представленных на рис. 1, поверхностная пропитка картона как нативным крахмалом, так и крахмалами, обработанными амилолитическими ферментами, приводит к увеличению, как начальной жесткости структуры, так и к увеличению жесткости в области замедленно-упругих деформаций и в зоне предразрушения.

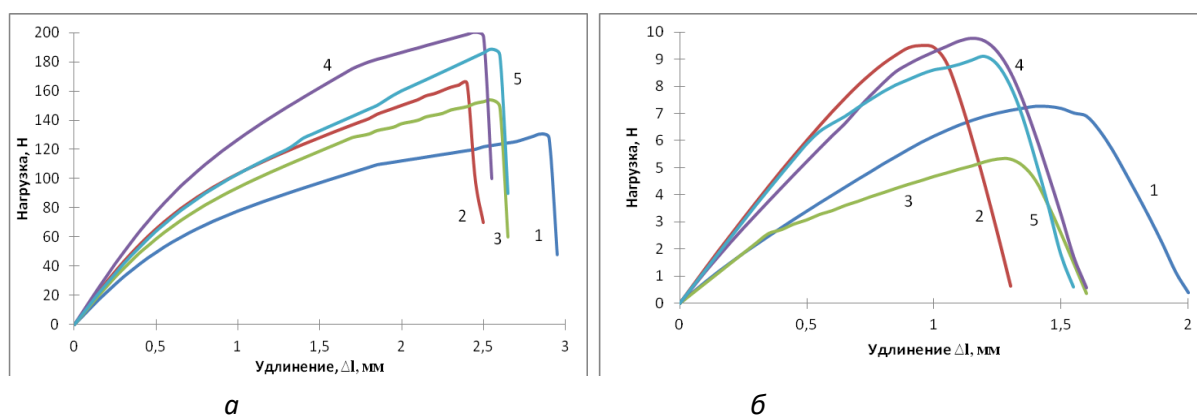


Рис. 1. Кривые зависимости «Нагрузка-удлинение» для картона после поверхностной пропитки: а – в сухом состоянии; б – во влажном состоянии; 1 – непропитанный картон; 2 – картон, пропитанный нативным крахмалом; 3 – картон, пропитанный крахмалом после обработки ферментом амилазой; 4 – картон, пропитанный крахмалом после обработки ферментом изоамилазой; 5 – картон, пропитанный крахмалом после обработки ферментом пуллуланазой

Хотя поверхностная пропитка картона крахмалом после обработки ферментом изоамилазой приводит к наибольшему увеличению жесткости структуры, но сопровождается снижением растяжимости, а, следовательно, и динамической прочности. Более того, снижение

растяжимости картона после поверхностной пропитки наблюдается для всех образцов как в сухом, так и в увлажненном состоянии независимо от наличия или природы амилолитического фермента. Для образцов картона, пропитанных крахмалом после обработки ферментом амилазой, наблюдается наименьшее увеличение жесткости структуры сопровождаемое общим снижением растяжимости как в сухом, так и в увлажненном состоянии.

Основные физико-механические параметры картона после поверхностной пропитки энзиматически модифицированным крахмалом представлены в табл. 1. Как видно из данных, представленных в таблице 1, наибольшее увеличение основных прочностных характеристик картона наблюдается после поверхностной пропитки крахмалом, обработанным ферментом изоамилазой, а именно: увеличение максимальной нагрузки в сухом состоянии на 50 %, в увлажненном – на 35 %; увеличение жесткости при растяжении для сухих и увлажненных образцов в среднем на 60 %; модуля упругости – в 2,25 ... 2,5 раза; работы разрушения – на 30 % для сухих образцов и 5 % – для увлажненных. Единственное, для данных образцов наблюдается уменьшение разрушающего удлинения в среднем на четверть.

Несколько менее выраженное улучшение прочностных характеристик наблюдается для картона после пропитки крахмалом, обработанным ферментом пуллуланазой, а именно: увеличением максимальной нагрузки на 45 % и 25 % соответственно для сухих и увлажненных образцов; жесткости при растяжении – в среднем на 40 %; модуля упругости – в 2 раза для сухих образцов и на 80 % для увлажненных; работы разрушения – на 30 % для сухих образцов и 5 % – для увлажненных. Для данных образцов также характерно уменьшение разрушающего удлинения на 10-15 %.

Таблица 1

Влияние поверхностной пропитки ферментированным крахмалом картофельным на прочностные характеристики картона (сухой/влажный)

Наименование показателя	Исходный картон	Картон, пропитанный крахмалом после обработки ферментом			
		без обработки	амилазой	изоамилазой	пуллуланазой
Толщина, мкм	312,4	251,9	263,7	239,4	253,0
Масса, г/м <sup>2</sup>	143,7	172,1	149,6	172,9	168,0
Максимальная нагрузка, Н	130,9 / 7,25	167,2 / 9,50	153,4 / 5,55	200,7 / 9,73	189,9 / 9,06
Деформация при макс. нагрузке, %	5,70 / 2,83	4,61 / 2,30	4,57 / 2,56	4,94 / 2,19	5,13 / 2,39
Максимальное напряжение, МПа	27,9 / 1,54	44,3 / 4,76	38,7 / 1,41	55,8 / 2,71	50,0 / 2,38
Модуль упругости, МПа	3200 / 14	570 / 24	550 / 9	730 / 32	660 / 25
Работа разрушения, МДж	225,2 / 6,03	235,9 / 6,53	214,6 / 4,36	298,4 / 6,30	295,1 / 6,36
Разрушающее удлинение, мм	2,85 / 1,42	2,31 / 1,15	2,54 / 1,28	2,47 / 1,10	2,57 / 1,21
Жесткость при растяжении кН/м	362 / 26	522 / 41	480 / 22	560 / 42	537 / 37

В свою очередь, поверхностная пропитка картона крахмалом после обработки ферментом амилазой не привела к каким-либо существенным увеличениям основных физико-механических показателей картона в сухом состоянии и к снижению большинства параметров в увлажненном состоянии. Для сухих образцов картона, пропитанных крахмалом после обработки амилазой, наблюдается увеличение максимальной нагрузки на 20 % (после про-

питки нативным крахмалом увеличение данного параметра составило 25 %); жесткости при растяжении – на 30 % (для нативного крахмала – 45 %); модуля упругости – на 70 % (для нативного крахмала – 75 %); снижение разрушающего удлинения на 10 % (для нативного крахмала снижение данного показателя составило 20 %). В увлажненном состоянии данные образцы демонстрировали снижение всех показателей от 10 % для разрушающего удлинения и до 25 % для максимальной нагрузки и работы разрушения. Как очевидно, по прочностным характеристикам данные образцы уступают образцам картона после пропитки нативным крахмалом, а в увлажненном состоянии – даже контрольным образцам (без пропитки).

*Влияние пропитки в массе биомодифицированным крахмалом на физико-механические свойства картона.* Деформационные свойства картона после пропитки в массе характеризуют кривые «нагрузка–удлинение» (рис. 2).

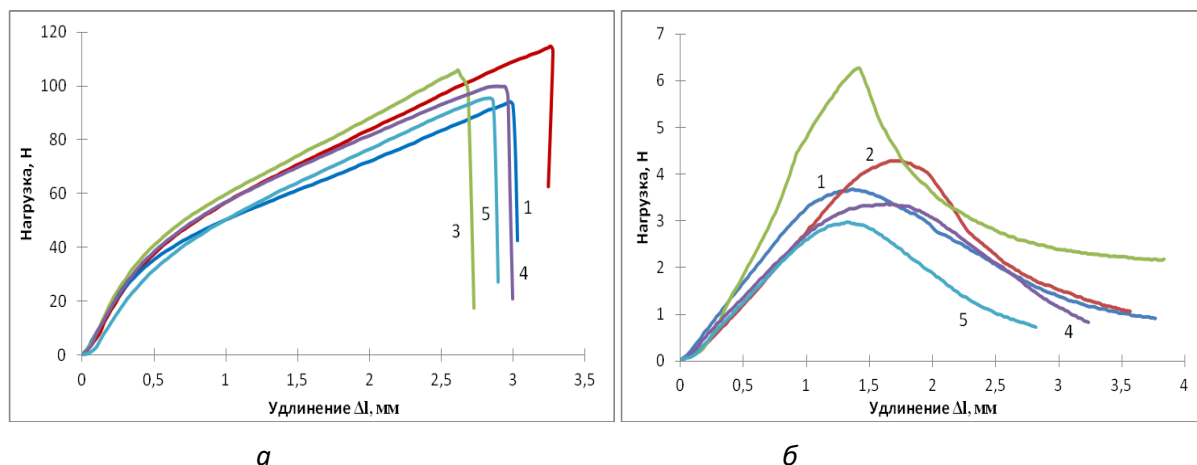


Рис. 2. Кривые зависимости «Нагрузка-удлинение» для картона после проклейки в массе: *а* – в сухом состоянии; *б* – во влажном состоянии; 1 – без проклейки; 2 – проклеенный нативным крахмалом; 3 – проклеенный крахмалом после обработки амилазой; 4 – проклеенный крахмалом после обработки изоамилазой; 5 – проклеенный крахмалом после обработки пуллулазой

Как видно из данных, представленных на рис. 2*а*, пропитка картона в массе крахмалами, обработанными амилазой, в сухом состоянии не приводит к значимым увеличениям как начальной жесткости структуры, так жесткости в области замедленно-упругих деформаций и в зоне предразрушения. Наибольший укрепляющий эффект на общую жесткость структуры сухого картона при пропитке в массе оказал нативный крахмал. Более того, пропитка в массе нативным крахмалом сопровождается увеличением растяжимости и динамической прочности структуры. Из модифицированных амилазой крахмалов наилучший укрепляющий эффект на жесткость сухого картона оказала амилаза, но данные образцы демонстрируют и наибольшее снижение растяжимости. Однако после увлажнения образцов наблюдается иная картина (рис 2*б*). В данном случае пропитка в массе крахмалом, обработанным ферментом амилазой, приводит к увеличению как начальной жесткости структуры, так и к увеличению жесткости в области замедленно-упругих деформаций и в зоне предразрушения. Более того, для данных образцов не наблюдается снижение растяжимости, а, следовательно, и динамической прочности. Несколько менее выраженный эффект укрепления жесткости структуры увлажненного картона наблюдается при пропитке в массе нативным крахмалом, что также сопровождается сохранением динамической прочности. В свою очередь, модификация крахмала ферментом изоамилазой при пропитке в массе не оказала заметного влияния на изменение общей жесткости увлажненного картона, тогда как модификация крахмала ферментом пуллулазой оказала негативный эф-

фект на жесткость структуры увлажненного картона, что сопровождалось также снижением динамической прочности образцов.

Основные физико-механические параметры картона после пропитки в массе энзиматически модифицированным крахмалом представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние проклейки в массе ферментированным крахмалом картофельным на прочностные характеристики картона (сухой/влажный)

Наименование показателя	Исходный картон	Картон, проклеенный крахмалом после обработки ферментом			
		без обработки	амилазой	изоамилазой	пуллуланазой
Толщина, мкм	277,3	319,4	300,8	303,5	278,8
Масса, г/м <sup>2</sup>	141,7	141,7	140,9	139,7	134,9
Максимальная нагрузка, Н	93,6 / 3,57	114,5 / 4,32	105,1 / 6,25	99,4 / 3,24	95,7 / 3,00
Деформация при макс. нагрузке, %	6,00 / 3,00	6,66 / 3,12	5,49 / 2,90	5,71 / 3,21	5,60 / 2,62
Максимальное напряжение, МПа	22,52 / 0,85	23,94 / 0,90	23,3 / 1,38	21,80 / 0,71	22,86 / 0,71
Модуль упругости, МПа	1180 / 50	1060 / 42	1300 / 70	1150 / 40	1220 / 45
Работа разрушения, МДж	178,2 / 3,35	234,4 / 3,58	183,3 / 4,62	179,1 / 3,17	166,6 / 2,44
Разрушающее удлинение, мм	3,00 / 1,39	3,33 / 1,52	2,74 / 1,42	2,86 / 1,55	2,80 / 1,28
Жесткость при изгибе, мН·см	204	262	229	185	209

Как видно из данных, представленных в табл. 2, наибольшее улучшение прочностных характеристик картона после проклейки в массе наблюдается для образцов, пропитанных крахмалом, модифицированным ферментом амилазой, а именно: увеличение максимальной нагрузки для сухих образцов – на 10 %, для увлажненных – на 75 %; модуля упругости – на 10 % и 40 % соответственно; работы разрушения – на 5 % для сухих и 40 % для увлажненных образцов. Модификация крахмала ферментами изоамилазой и пуллуланазой не оказала заметного влияния на изменение физико-механических свойств сухого картона при пропитке в массе: показатели данных образцов не отличаются от показателей непропитанного картона. Более того, после увлажнения значения большинства показателей у данных образцов снижается на 10...25 % относительно непропитанного картона. Наибольшее улучшение прочностных характеристик для сухого картона наблюдается при пропитке в массе нативным крахмалом: значения максимальной нагрузки возросло на 20 %, работы разрушения – на 30 %, разрушающего удлинения – на 10 % относительно исходного картона. Однако данные образцы демонстрируют снижение модуля упругости на 10 %. В увлажненном состоянии образцы картона после пропитки в массе нативным крахмалом уступают по ряду показателей образцам картона, пропитанным в массе крахмалом после обработки ферментом амилазой.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что наилучшее повышение основных физико-механических показателей картона при поверхностной пропитке наблюдается после модификации крахмала ферментом изоамилазой, а при пропитке в массе – ферментом амилазой, что особенно становится заметно при увлажнении образцов.

Список литературы

1. Иванов С.Н. Технология бумаги. М.: Школа бумаги, 2006.- 696 с.
2. Benavent-Gil Y., Rosell C.M. Morphological and physicochemical characterization of porous starches obtained from different botanical sources and amylolytic enzymes // Int. J. Biol. Macromol. 2017, Vol. 10, pp. 587-595.
3. ИСО 1924-2-85 Бумага и картон. Определение прочности при растяжении. Часть 2. Метод растяжения с постоянной скоростью. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 12 с.
4. Комаров В.И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов. Архангельск, изд-во АГТУ, 2002.- 440 с.
5. Комаров В.И., Казаков Я.В. Анализ механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки / Лесной вестник МГУЛ. 2000. №3 (12). С.52–62.

---

УДК 676.166

**РАФИНЕРНАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ МАССА ИЗ ЛЬНЯНОЙ КОСТРЫ:  
СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ**

**Алашкевич Юрий Давыдович,**  
д-р техн. наук, заведующий кафедрой,  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, E-mail: [mapt@sibgtu.ru](mailto:mapt@sibgtu.ru)

**Пен Роберт Зусьевич,**  
д-р техн. наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, E-mail: [mapt@sibgtu.ru](mailto:mapt@sibgtu.ru)

**Марченко Роман Александрович,**  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, E-mail: [mapt@sibgtu.ru](mailto:mapt@sibgtu.ru)

**Каретникова Наталья Викторовна,**  
канд. хим. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, E-mail: [mapt@sibgtu.ru](mailto:mapt@sibgtu.ru)

**Чендылова Лариса Валерьевна,**  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, E-mail: [mapt@sibgtu.ru](mailto:mapt@sibgtu.ru)

**Ключевые слова:** лён, льняная костра, солома, макулатура, рафинерная механическая масса, соломенная рафинерная масса, льняная рафинерная масса, макулатурная волокнистая масса, туалетная бумага.

**Аннотация.** Рафинерная механическая масса (РММ) из льняной костры обладает низкими прочностными свойствами и высокой капиллярной впитываемостью. Установлена возможность замены части макулатурной массы на РММ из льняной костры при производстве туалетной бумаги.



**REFINER MECHANICAL PULP FROM FLAX SHIVE:  
PROPERTIES AND FIELD OF USE**

**Alashkevich Yuriy Davydovich,**  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, head of the Department,  
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,  
Krasnoyarsk, E-mail: [mapt@sibgtu.ru](mailto:mapt@sibgtu.ru)

**Pen Robert Zusyevich,**  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor,  
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,  
Krasnoyarsk, E-mail: [mapt@sibgtu.ru](mailto:mapt@sibgtu.ru)

**Marchenko Roman Aleksandrovich,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,  
Krasnoyarsk, E-mail: [mapt@sibgtu.ru](mailto:mapt@sibgtu.ru)

**Karetnikova Natalia Viktorovna,**  
Ph.D. of Chemical Sciences, Associate Professor,  
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,  
Krasnoyarsk, E-mail: [mapt@sibgtu.ru](mailto:mapt@sibgtu.ru)

**Chendylova Larisa Valeryevna,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,  
Krasnoyarsk, E-mail: [mapt@sibgtu.ru](mailto:mapt@sibgtu.ru)

**Key words:** *flax, flax shive, straw, waste-paper, refiner mechanical pulp, refiner straw pulp, refiner flax shive pulp, waste-paper pulp, toilet paper.*

**Abstract:** *Refiner mechanical pulp (RMP) from flax shive possesses the low durability and high capillary rise. The ascertainment of possibility of the change the part waste pulp of the mass on RMP from flax shive at production of the toilet paper.*

Отходы промышленной переработки однолетних растений (солома различных зерновых культур, отходы переработки волокнодержущих культур в текстильном производстве и т. п.) рассматриваются в качестве перспективного сырья для целлюлозно-бумажного производства. Предпосылки к этому – короткий срок ротации сырья (периодичность – 1 год) и большие количества предлагаемых отходов растительного происхождения в названных выше и других отраслях промышленности и сельского хозяйства.

В начале текущего века посевные площади льна в России составляли примерно 110 тыс. га, а его валовой годовой сбор (в пересчете на волокно) достигал 56 тыс. т. [1]. При переработке стеблей (тресты) на льноперерабатывающих заводах от лубяной волокнистой части отделяется костра в количестве 65...70 %. Её утилизируют различными способами: в производстве утеплителей, наполнителей композиционных материалов и т.п. [1–3]. Имеются публикации о свойствах и возможных областях использования технической целлюлозы из льняной костры [4–7]. Однако существующие способы делигнификации, вследствие сложности технологического цикла, сводят к минимуму те экономические преимущества, которые предполагает низкая стоимость растительного сырья.

Этим обусловлен интерес к альтернативным технологиям, в том числе к производству волокнистых полуфабрикатов высокого и сверхвысокого выхода без использования химикатов или с минимальным их использованием.

Японская компания Тайзен (Taizen Co., Ltd) считает перспективным изготовление волокнистых полуфабрикатов из соломы злаков по технологии, близкой к производству рафи-



нерной механической массы (РММ) и состоящей из ряда операций: замачивания сырья; предварительного размола; варки полученной волокнистой массы с водой при температуре до 100 °С; вторичного размола (информация из рекламных проспектов фирмы). В ходе совместных исследований компании Тайзен, ООО Химические системы (РФ) и ТОО Сабан кагазы (Казахстан) изготовили этим способом небеленый волокнистый полуфабрикат из соломы льна. Его прочностные свойства оказались низкими. Очевидно, что рафинерная механическая масса из льняной костры может быть использована для производства некоторых видов бумажной продукции, только как добавка в смеси с другими, более прочными и относительно дешевыми волокнистыми полуфабрикатами, такими, например, как макулатурная масса.

Цель обсуждаемого исследования – сравнить свойства рафинерной массы из льняной костры с другими волокнистыми полуфабрикатами (из группы «относительно недорогих») и установить возможные области её использования в композиции с этими полуфабрикатами. В качестве последних применяли соломенную РММ и макулатурную массу.

Льняная костра представляла собой отходы производства пакли и утеплителя из льняной тресты. Полидисперсный по фракционному составу материал состоял из частиц длиной 1...10 мм, толщиной 0,3...1,5 мм, с небольшими включениями волокнистой части льна. Массовые доли компонентов в льняной костре, %: целлюлозы (клетчатки) 30,7; лигнина 33,1; пентозанов 28,0; веществ, экстрагируемых горячей водой, 5,4; веществ, экстрагируемых ди-хлорметаном, 4,3; золы 1,7 [6].

Высушенную на воздухе солому пшеницы, заготовленную по окончании вегетационного периода в Емельяновском районе Красноярского края и высушенную на воздухе, предварительно измельчили в универсальной лабораторной дисковой мельнице сухого помола «Рекорд» примерно до тех же размеров частиц, что и льняная костра. Макулатуру марки МС-1А (офисная запечатанная бумага) распустили в лабораторном гидроразбивателе; степень помола волокнистой массы 20 °ШР.

Все перечисленные исходные компоненты размолотили в полупромышленной однодисковой мельнице со стандартной прямолинейной гарнитурой до 45...47 ° ШР при концентрации волокнистой суспензии 1,6 %, частоте вращения диска 1500 мин<sup>-1</sup> и зазоре между дисками 0,1 мм. Отливки массой 75 г/м<sup>2</sup> изготовили на листоотливном аппарате типа Рапид-Кетен, сопротивление разрыву определили на динамометре РМБ-30-2М, сопротивление излому – на аппарате системы Шоппер (фирма Drick), капиллярную впитываемость характеризовали высотой поднятия дистиллированной воды по полоске бумаги шириной 15 мм в течение 10 мин. (ГОСТ 12602).

Как показали результаты ранее выполненного химического анализа [6], состав льняной костры заметно отличается не только от древесины, но и от соломы злаковых культур (в контексте – пшеницы): в ней меньше полисахаридов и больше лигнина. При этом отмечены значительные различия в содержании основных компонентов по данным разных авторов [4, 5, 8]. Причиной этого, несомненно, является как естественная природная (сортовая и региональная) изменчивость льна, так и влияние предшествующего техногенного воздействия на сырьё. Свойства волокнистых полуфабрикатов и результаты статистической обработки результатов измерений приведены в табл.1.

По сопротивлению разрыву и излому отливки из макулатурной массы значительно превосходят прочность остальных полуфабрикатов. По сопротивлению разрыву самым низким показателем выделяется льняная масса.

По сопротивлению излому изученные полуфабрикаты, за исключением макулатурной массы, образовали однородную группу с очень низким показателем, близким к нулю. Причина низких прочностных свойств рафинерной массы известна: короткое волокно, большое количество лигнина в полуфабрикатах и, как следствие, малая прочность межволоконных сил связи в бумажном листе и рыхлая структура листа.

Таблица 1

Результаты наблюдений (свойства волокнистой массы)  
и статистические характеристики

Характеристики	Исходное сырьё		
	костра	солома	макулатура
Разрывная длина, м			
Средние значения, м	110	382	2435
Коэффициенты вариации, %	12,8	4,44	27,0
Соппротивление излому, число двойных перегибов (ч.д.п.)			
Средние значения, ч.д.п.	0	1	155
Коэффициенты вариации, %	0	141,4	6,39
Капиллярная впитываемость, мм			
Средние значения, мм	80,5	77,0	29,5
Коэффициенты вариации, %	4,4	12,8	2,4

Результаты анализа с очевидностью показали, что использование РММ из льняной костры возможно только для выработки низкопрочной бумажной продукции (например, туалетной бумаги) и только в смеси с другими волокнистыми полуфабрикатами, имеющими лучшие бумагообразующие свойства, в частности – с макулатурной массой. С целью установления зависимости этих свойств от состава смеси, изучаемые полуфабрикаты смешивали в различных соотношениях, согласно симплекс-решетчатому плану (пакет прикладных программ математической статистики Statgraphics Centurion, блок DOE, процедура Mixture, план Simplex-Lattice). Зависимости свойств от состава отливок аппроксимировали уравнениями регрессии второго порядка [9].

На рис.1 результаты моделирования уравнениями регрессии представлены изолиниями свойств трехкомпонентных смесей в барицентрических координатах на треугольных диаграммах «состав – свойство».



Рис.1. Зависимость свойств отливок от состава трехкомпонентных смесей волокнистых полуфабрикатов: А – разрывная длина, м; Б – сопротивление излому, ч.д.п.; В – капиллярная впитываемость, мм

Согласно ГОСТ Р 52354-2005 «Изделия из бумаги бытового и санитарно-гигиенического назначения» бумага туалетная однослойная должна иметь сопротивление разрыву (разрушающее усилие) в сухом состоянии не менее 2,2 Н (соответствующая разрывная длина не менее 250 м) и впитываемость не менее 22 мм. Сопротивление излому и другие прочностные свойства для этого вида бумаги указанным стандартом не нормируются.

По способности отливок впитывать влагу практически все испытанные композиции отвечают предъявляемым требованиям. Учитывая, что предприятия, производящие туалетную бумагу, в настоящее время в качестве сырья используют только макулатуру, для них вполне реальна возможность замены значительной доли макулатуры (вплоть до 80 %) рафинерной

массой из более дешевого сырья – льняной костры, как следует из представленных диаграмм.

Даже композиции из смеси равных долей рафинерной массы из пшеничной соломы и льняной костры способны обеспечить требуемые прочностные и впитывающие свойства однослойной туалетной бумаги, что открывает дополнительные резервы снижения затрат предприятия на сырьё.

#### Список литературы

1. Живетин В. В., Гинзбург Л. Н., Ольшанская О. М.. Лён и его комплексное использование. М.: Информ-Знание, 2002. 400 с.
2. Нугманов О., Лебедев Н., Яруллин Р. Травяная целлюлоза в российских регионах // The Chemical Journal. 2012. № 9. С. 30-32.
3. Марков В. В. Первичная обработка льна и других лубяных культур. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 375 с.
4. Прусова С.М., Прусов А.Н., Рыжов А.И. Льняное сырьё для получения целлюлозы // Боеприпасы и высокоэнергетические системы. 2010. № 1. С. 63-69.
5. Лён в пороховой промышленности / Под ред. С.И. Григорова. М, 2012. 248 с.
6. Каретникова Н.В., Чендылова Л.В., Пен Р.З. Свойства волокнистых полуфабрикатов из костры льна // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. Архангельск: С(А)ФУ им. М.В. Ломоносова. 2017. С. 268-272.
7. Каретникова Н.В., Чендылова Л.В., Пен Р.З., Муравицкая А.А. Техническая целлюлоза из костры льна // Решетниковские чтения: материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф., посвященной памяти акад. М.Ф. Решетнева. В 2 частях. Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2017. Ч. 2. С. 143-144.
8. Большая Российская энциклопедия. М., 2010. Т. 15. С. 472.
9. Пен Р.З. Планирование эксперимента в Statgraphics Centurion.-Красноярск, 2014.-293с.

---

УДК 661.728

### ОБЕССМОЛИВАНИЕ ЛИСТВЕННОЙ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ НА СТАДИИ ВАРКИ

**Хакимова Фирдавес Харисовна,**  
д-р техн. наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [tcbp@pstu.ru](mailto:tcbp@pstu.ru)

**Хакимов Роман Рашидович,**  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [tcbp@pstu.ru](mailto:tcbp@pstu.ru)

**Шевелева Софья Андреевна,**  
магистрант, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [tcbp@pstu.ru](mailto:tcbp@pstu.ru)

**Серебряков Олег Сергеевич,**  
магистрант, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [tcbp@pstu.ru](mailto:tcbp@pstu.ru)

**Ключевые слова:** береза, осина, лиственная целлюлоза, сульфатная варка, ПАВ Неонол, делигнификация, выход целлюлозы, лигнин, общая смола, «вредная» смола, обессмоливание.

**Аннотация.** *Использование отечественного ПАВ Неонол при сульфатной варке березовой и осиновой древесины и их смесей приводит к ускорению процесса делигнификации и существенному обессмоливанию целлюлозы по общей и, что особенно важно, по «вредной» смоле. Эффект обессмоливания наибольший при получении осиновой целлюлозы, наименьший – в случае получения целлюлозы из смесей древесины березы и осины.*

## DEPITCHING OF HARDWOOD SULPHATE PULP IN THE COOKING PROCESS

**Khakimova Firdavez Harisovna,**  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor,  
Perm National Research Polytechnic University, Perm, E-mail: [tcbp@pstu.ru](mailto:tcbp@pstu.ru)

**Khakimov Roman Rashidovich,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Perm National Research Polytechnic University, Perm, E-mail: [tcbp@pstu.ru](mailto:tcbp@pstu.ru)

**Sheveleva Sofia Andreevna,**  
master student, Perm National Research Polytechnic University, Perm, E-mail: [tcbp@pstu.ru](mailto:tcbp@pstu.ru)

**Serebryakov Oleg Sergeevich,**  
master student, Perm National Research Polytechnic University, Perm, E-mail: [tcbp@pstu.ru](mailto:tcbp@pstu.ru)

**Key words:** *birch, aspen, hardwood pulp, sulphate cooking, surface active substance (SAS) “Neonol”, delignification, pulp output, lignin, total resin, harmful resin, depitching.*

**Abstract.** *The use of domestic surface active substance (SAS) “Neonol” in the sulphate cooking of birch and aspen wood and their mixtures leads to the acceleration of delignification and substantial pulp depitching for total, which is especially important for harmful resin. The largest depitching effect there is in process of obtaining aspen pulp, but the lowest in obtaining from mixture of birch and aspen wood.*

В целлюлозно-бумажном производстве производственники и исследователи во всех странах продолжают уделять большое внимание поиску наиболее эффективных способов уменьшения или устранения смолистости древесной целлюлозы и, соответственно, смоляных затруднений.

Смоляные затруднения больше всего вызывают сульфитная и бисульфитная целлюлоза, в особенности лиственная, а также сульфатная лиственная целлюлоза [1].

Сложность борьбы со смоляными затруднениями заключается в том, что возникают они на различных стадиях переработки целлюлозной и бумажной массы, вплоть до бумагоделательных машин и пресспатов [2].

Из многочисленных способов предотвращения или устранения смоляных затруднений наиболее радикальным решением проблемы является удаление большей части смолы из древесины и целлюлозы. Известно, что с целью обессмоливания целлюлозы на ряде предприятий на различных стадиях технологического процесса используются обессмоливающие агенты, главным образом импортные, или композиции на основе смесей поверхностно-активных веществ (ПАВ), что предопределяет довольно высокую стоимость таких способов обессмоливания [3].

В целлюлозно-бумажном производстве различают два понятия: общую смолистость и «вредную» смолистость целлюлозы. Наиболее характерным признаком «вредной» смолы является её липкость и способность к агрегированию в крупные частицы, отлагающиеся на оборудовании и на сетках бумагоделательных машин, вызывая производственные смоляные затруднения [2].

Однако при переработке лиственной древесины (березы и осины) в сульфатцеллюлозном производстве также возникает проблема смоляных затруднений. Состав экстрактивных веществ лиственных пород отличается от состава смолы в хвойной древесине. При сульфат-

ной варке хвойной древесины смолы и жиры подвергаются практически полному омылению щелочным варочным раствором и переходят в раствор в виде натриевых солей смоляных и жирных кислот – сырого сульфатного мыла.

В лиственной древесине практически отсутствуют смоляные кислоты и велика доля неомыляемых нейтральных веществ. Большая часть липидов и неомыляемых веществ лиственной древесины заключена в мелких клетках лучевой паренхимы. Эти вещества плохо растворяются в сульфатном варочном щелоке, затрудняя проникновение варочного раствора в щепу, процесс ее делигнификации и обессмоливания. Это вызывает смоляные затруднения в технологическом потоке [3,4].

Одним из вариантов снижения смолистости лиственной сульфатной целлюлозы является применение при варке добавки ПАВ [5].

Задача данной работы – исследование возможности снижения содержания смолы в лиственной сульфатной целлюлозе путем добавки отечественного ПАВ Неонол при варке целлюлозы. ПАВ Неонол представляет собой оксиэтилированные моноалкилфенолы на основе тримеров пропилена (техническую смесь полиэтиленгликолевых эфиров моноалкилфенола.

Лиственную целлюлозу получали из древесины березы и осины. Для варки использовали варочный раствор с сульфидностью 30 %, расход активной щелочи составил 17% Na<sub>2</sub>O от абсолютно сухой древесины.

График варки целлюлозы: подъем температуры до 165-170°C – 2 часа, варка – 1 час. Таким образом, все варки проведены при одинаковых условиях. Расход ПАВ Неонол был принят на основании предварительных исследований 0,1÷0,4 % от массы абс. сух. древесины.

Результаты анализа полученных образцов березовой целлюлозы при различных расходах ПАВ приведены в табл. 1 и на рис. 1 и 2.

Таблица 1

Влияние расхода ПАВ Неонол при варке на свойства березовой сульфатной целлюлозы

Показатели целлюлозы	Значения показателей				
	1	2	3	4	5
Расход ПАВ, % к абс. сух. щепе	–	0,1	0,2	0,3	0,4
Выход, % от исходной древесины:					
целлюлозы	50,4	49,2	48,8	49,1	49,0
непровара	1,6	1,7	1,2	0,6	0,5
общий	52,0	50,9	50,0	49,7	49,5
Степень делигнификации (число Каппа)	23,6	23,0	21,9	20,7	20,0
Массовая доля в целлюлозе, %:					
лигнина	4,0	3,6	3,2	3,0	2,9
смол и жиров	0,75	0,53	0,43	0,40	0,40
Обессмоливание целлюлозы, %	–	30,0	43,3	46,7	46,7
Массовая доля «вредной» смолы, мг/100 г целлюлозы	22,47	16,25	12,95	10,43	8,89
Снижение «вредной» смолистости, %	–	27,7	42,4	53,6	60,4

При варке без использования ПАВ получен образец целлюлозы с невысоким содержанием общей смолы, но довольно значительным содержанием «вредной» смолы. Использование ПАВ при варке, как было получено нами ранее, способствует ускорению пропитки щепы. В результате ускоряется делигнификация (снижается число Каппа) и, соответственно, снижается массовая доля остаточного лигнина в целлюлозе (от 4,0 до 2,9 %), а также количество непровара (от 1,6 до 0,5 %). Выход целлюлозы изменяется соответственно изменению степени делигнификации.

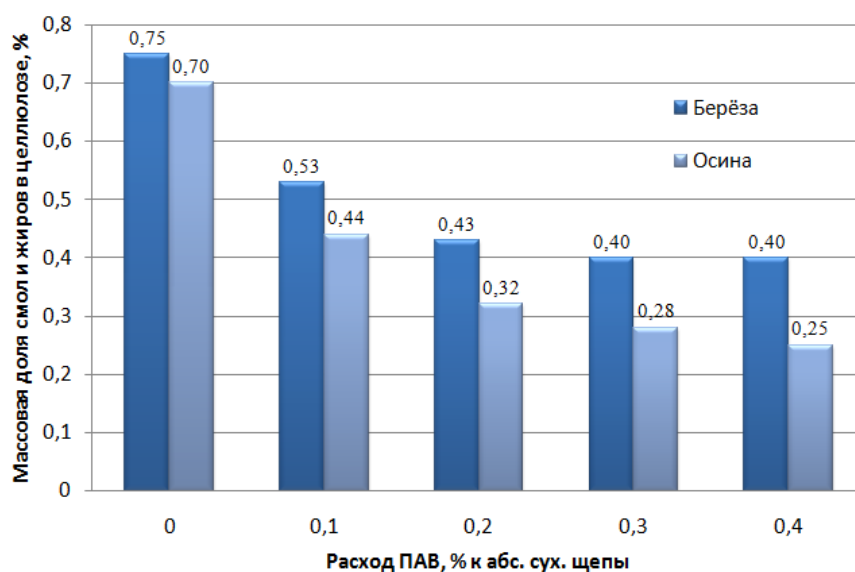


Рис.1. Влияние ПАВ Неонол на обессмоливание березовой и осиновой целлюлозы по общей смоле

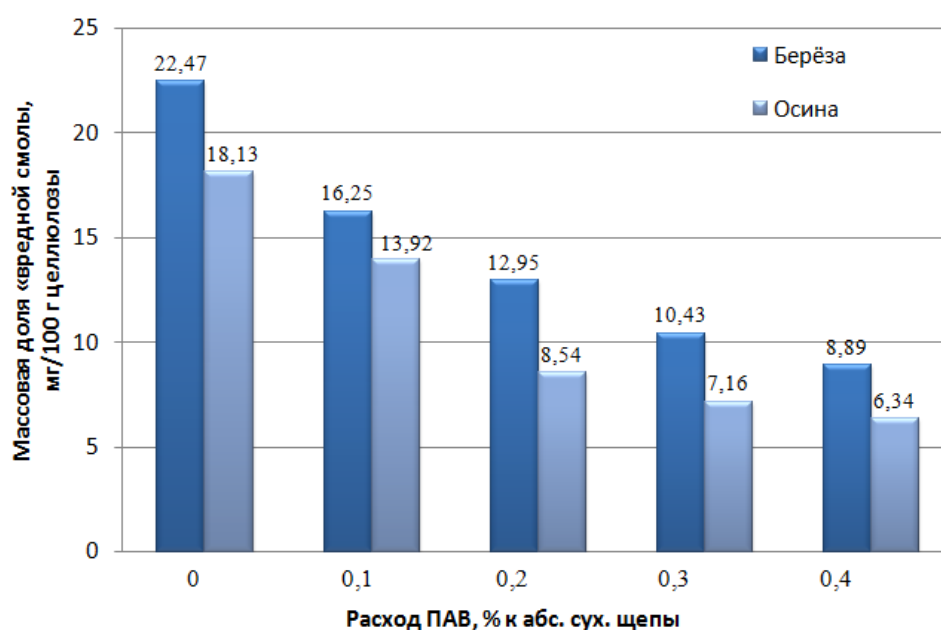


Рис. 2. Влияние ПАВ Неонол на обессмоливание березовой и осиновой целлюлозы по «вредной» смоле

Результатом использования ПАВ при варке явилось существенное обессмоливание полученных образцов целлюлозы. В зависимости от расхода Неонол при варке общая смолистость снизилась на 30...47 %, а «вредная» смолистость – на 30...60 %.

Поскольку сульфатная целлюлоза получается с невысоким содержанием общей смолы и значительным содержанием «вредной» смолы, особое значение приобретает именно такое существенное обессмоливание по «вредной» смоле.

При расходе Неонола 0,2 % от абс. сух. древесины обессмоливание по общей и «вредной» смоле составляет 43 %, а при расходе 0,3 % обессмоливание по «вредной» смоле достигает 54 %, то есть весьма значительное, практически исключающее проблему смоляных затруднений. В табл. 2 и на рис. 1 и 2 приведены результаты варок древесины осины с использованием ПАВ.

Влияние добавок ПАВ при варке на делигнификацию аналогично результатам, полученным при варке древесины березы, а обессмоливающий эффект по общей и «вредной» смоле в этом случае несколько выше, чем в случае получения березовой целлюлозы, и достигает 65 % по «вредной» смоле. При варке осиновой древесины с расходом ПАВ 0,2 % от абс. сух. щепы достигаются такие же результаты обессмоливания, как при варке березовой древесины с расходом ПАВ 0,3 % от абс. сух. древесины.

Таким образом, использование ПАВ при сульфатной варке березовой и осиновой древесины приводит к некоторому ускорению процесса делигнификации и существенному обессмоливанию целлюлозы по общей и, что особенно важно, по «вредной» смоле.

Для получения эффекта обессмоливания по «вредной» смоле 60 % достаточен расход ПАВ Неонол 0,3 % от абс. сух. древесины для осиновой целлюлозы и 0,4 % – для березовой целлюлозы.

Таблица 2

Влияние расхода ПАВ Неонол при варке на свойства осиновой сульфатной целлюлозы

Показатели целлюлозы	Значения показателей				
	1	2	3	4	5
Расход ПАВ, % к абс. сух. щепе	–	0,1	0,2	0,3	0,4
Выход, % от исходной древесины:					
целлюлозы	50,4	50,9	50,5	49,9	49,9
непровара	2,4	1,3	1,4	1,2	1,1
общий	52,8	52,2	51,9	51,1	51,0
Степень делигнификации (число Каппа)	23,5	22,6	21,7	19,3	19,0
Массовая доля в целлюлозе, %:					
лигнина	4,0	3,6	3,5	3,2	3,2
смол и жиров	0,70	0,44	0,32	0,28	0,25
Обессмоливание целлюлозы, %	–	36,4	53,6	60,7	64,0
Массовая доля «вредной» смолы, мг/100 г целлюлозы	18,13	13,92	8,54	7,16	6,34
Снижение «вредной» смолистости, %	–	23,2	52,9	60,5	65,2

Часто на предприятиях сульфатную целлюлозу получают варкой смеси различных пород древесины. Поэтому представляет интерес возможность и эффективность обессмоливания целлюлозы в случае варки смеси древесины различных пород. Мы использовали для варки сульфатной целлюлозы смесь древесины березы и осины в соотношении 60:40.

Условия варки, расход активной щелочи и состав варочного щелока были такие же, как и при раздельной варке указанных лиственных пород древесины.

Результаты варки представлены в табл. 3 и на рис. 3. Расход ПАВ при варке изменялся в пределах от 0,05 до 0,5 % к абс. сух. щепе.



Таблица 3

Влияние расхода ПАВ Неонол при варке на свойства сульфатной целлюлозы из смеси лиственных пород древесины (березы и осины)

Показатели целлюлозы	Значения показателей						
	1	2	3	4	5	6	7
Расход ПАВ, % к абс. сух. щепе	–	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Выход, % от исходной древесины:							
целлюлозы	49,9	49,9	50,2	51,4	51,8	51,1	51,1
непровара	1,9	1,2	0,3	0,4	0,2	0,5	0,3
общий	51,8	51,1	51,0	51,8	52,0	51,6	51,4
Степень делигнификации (число Каппа)	20,4	19,8	18,7	18,6	18,3	18,0	18,0
Массовая доля в целлюлозе, %:							
лигнина	3,1	3,0	2,8	2,8	2,7	2,6	2,6
смола и жиров	0,81	0,74	0,67	0,60	0,56	0,56	0,52
Обессмоливание целлюлозы, %	–	8,7	17,4	26,0	30,4	30,4	34,8
Массовая доля «вредной» смолы, мг/100 г целлюлозы	20,25	19,64	16,26	11,60	10,31	9,19	7,58
Снижение «вредной» смолистости, %	–	3,0	19,7	42,7	49,1	54,6	62,6

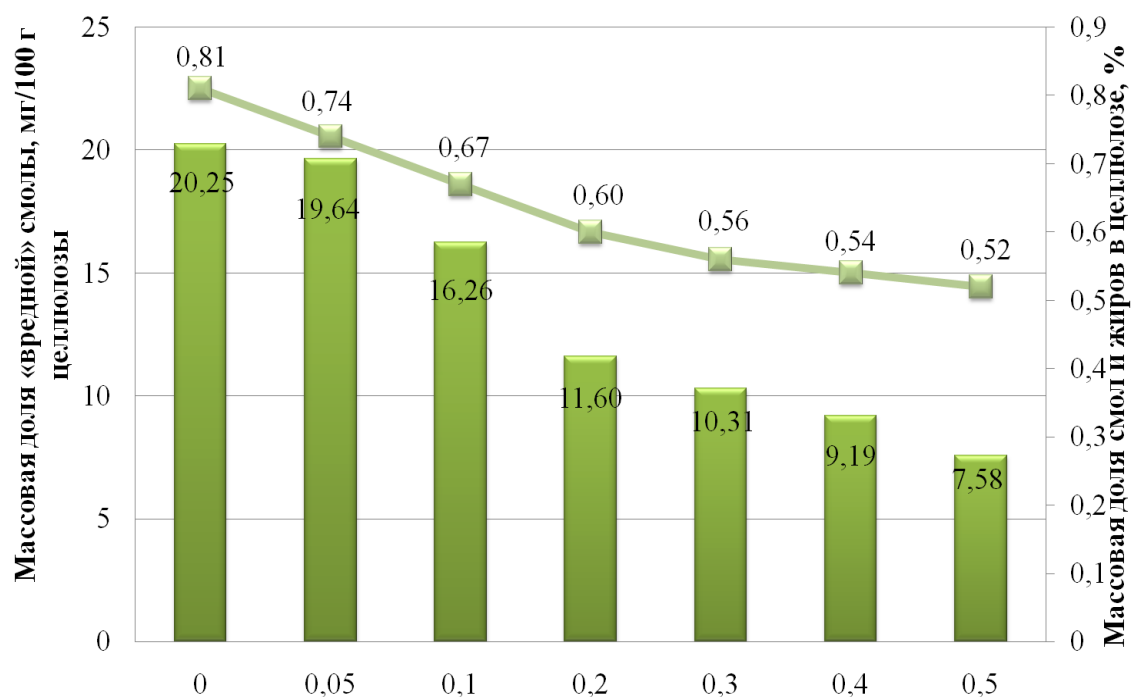


Рис. 3. Влияние ПАВ Неонол при варке на обессмоливание сульфатной целлюлозы из смеси лиственных пород древесины (березы и осины)

Как следует из полученных результатов, ускорение делигнификации при использовании ПАВ выражено в такой же степени, как и в случае раздельной варки использованных пород

древесины: по мере увеличения расхода ПАВ снижаются количество непровара в целлюлозе, степень делигнификации целлюлозы (число Каппа) и массовая доля в целлюлозе лигнина. Обессмоливающий эффект ПАВ в этом случае несколько ниже: эффект обессмоливания по общей смоле 30 % получается при расходе ПАВ 0,1 % в случае раздельной варки березы и осины, и 0,3 % от абс. сух. древесины смеси этих пород древесины; эффект обессмоливания 60 % по «вредной» смоле достигается, соответственно, при расходе ПАВ 0,4 % для березы, 0,3 % для осины, и 0,5 % от абс. сух. древесины для их смеси. Имеет место некоторое торможение процесса обессмоливания в случае варки смеси, что похоже на синэргический эффект компонентов смолы разных пород древесины на процесс обессмоливания.

Эффективность воздействия ПАВ на обессмоливание целлюлозы, вероятно, следует оценивать по увеличению количества диспергированной смолы и снижению в целлюлозной массе внутриволоконной и, особенно, коагулированной смолы (табл. 4).

Данные микроскопического анализа смолы в образцах целлюлозы показывают, что у всех образцов целлюлозы добавка использованного обессмоливающего агента Неонол увеличила количество диспергированной смолы при значительном снижении количества коагулированной смолы. Причем, расход ПАВ был принят минимальный, при котором начинается обессмоливание целлюлозы с ПАВ Неонол.

Наибольшее уменьшение количества коагулированной смолы и увеличение количества диспергированной (свободной) смолы наблюдается в случае варки с ПАВ осиновой древесины, минимальные соответствующие показатели получены в случае варки смеси древесины осины и березы.

Таблица 4

Результаты микроскопического исследования содержания смолы в лиственной сульфатной целлюлозе при использовании в процессе варки ПАВ Неонол

Порода древесины	Добавка ПАВ	Обессмоливание по общей смоле, %	Смола в целлюлозе, шт/600 волокон		Уменьшение количества коагулированной смолы, %	Увеличение количества диспергированной смолы, %
			коагулированная (старая)	диспергированная (свободная)		
Оси-на	-	-	36	7	-	-
	+	36,4	24	18	44,4	61,1
Бере-за	-	-	32	16	-	-
	+	30,0	20	28	37,5	42,8
Смесь осин и березы	-	-	14	16	-	-
	+	19,5	9	32	35,7	33,2

Примечание: добавка ПАВ Неонол при варке составила 0,1 % от абс. сух. древесины

Таким образом, использование ПАВ при сульфатной варке березовой и осиновой древесины приводит к некоторому ускорению процесса делигнификации и существенному обессмоливанию целлюлозы по общей и, что особенно важно, по «вредной» смоле. Для получения эффекта обессмоливания по «вредной» смоле около 60 % достаточен расход ПАВ Неонол 0,2 % от абс. сух. древесины для осиновой целлюлозы и 0,3 % – для березовой целлюлозы.

При варке смеси лиственных пород древесины (березы и осины) эффект обессмоливания ниже, чем при раздельной варке этих же пород, но по «вредной» смоле также значительный – при расходе ПАВ 0,3 % от абс. сух. древесины достигает 50 %.

Список литературы

1. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т.І. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 2. Производство полуфабрикатов. – СПб.: Политехника, 2003. – 633 с.
2. Иванов С.Н. Технология бумаги: учебное пособие / С.Н. Иванов. – 3-е изд. – М.: Шк. бумаги, 2006.- 695 с.
3. Непенин Н.Н. Технология целлюлозы. В 3. Т.Ш. Н.Н.Непенин, Ю.Н.Непенин. Очистка, сушка и отбелка целлюлозы. Прочие способы получения целлюлозы: Учебное пособие для вузов – 2-е изд., перераб. – М.: Экология, 1994. – 592 с.
4. Лузина Л.И. О растворении смолистых веществ при целлюлозной варке древесины березы / Лузина Л.И., Иванова И.С., Гунин Ю.А. // Проблемы производства волокнистых полуфабрикатов.– М., 1981.– С. 25-28.
5. Лысогорская Н.П. К вопросу о "вредной смоле" / Н.П. Лысогорская, Е.Ю. Демьянцева, И.Ю. Халопенен // Целлюлоза. Бумага. Картон, 2001.– № 3-4.– С. 14-15.

---

УДК 678

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С ГИДРОЛИЗНЫМ ЛИГНИНОМ**

**Шкуро Алексей Евгеньевич,**  
канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Уральский государственный  
лесотехнический университет», г. Екатеринбург, E-mail: [zj@weburg.me](mailto:zj@weburg.me)

**Кривоногов Павел Сергеевич,**  
аспирант, ФГБОУ ВО «Уральский государственный  
лесотехнический университет», г. Екатеринбург, E-mail: [kps82@gmail.com](mailto:kps82@gmail.com)

**Ключевые слова:** гидролизный лигнин, древесно-полимерный композит, экструзия, ДПКм.

**Аннотация.** Были получены образцы древесно-полимерных полимерных композитов с полиэтиленовой полимерной матрицей и гидролизным лигнином. Определены физико-механические свойства полученных композитов. Установлены закономерности влияния состава композитов на их свойства.

**WOOD-POLYMER COMPOSITES WITH THE HYDROLYSIS LIGNIN**

**Shkuro Aleksey Evgenievich,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [zj@weburg.me](mailto:zj@weburg.me)

**Krivoronov Pavel Sergeevich,**  
graduate student, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [kps82@gmail.com](mailto:kps82@gmail.com)

**Key words:** hydrolytic lignin, wood-polymer composite, extrusion, WPC.

**Abstract.** Samples of wood-polymer polymer composites with a polyethylene polymer matrix and hydrolytic lignin were obtained. The physico-mechanical properties of the composites obtained were determined. The regularities of the effect of composites composition on their properties were established.

Ежегодно в мире получают около 70 млн. тонн технических лигнинов. В настоящее время это сырье организационно, экономически и технически не слишком и не всегда дос-

тупно. По данным International Lgnin Institute в мире используется на промышленные, сельскохозяйственные и др. цели не более 2 % технических лигнинов [1]. Разложение лигнина на более простые химические соединения (фенол, бензол и т.п.) при сравнимом качестве получаемых продуктов обходится дороже их синтеза из нефти или газа. Остальное сжигается в энергетических установках или захоранивается в могильниках.

Трудность промышленной переработки лигнина обусловлена сложностью его природы, многовариантностью структурных звеньев и связей между ними, а также нестойкостью этого полимера, меняющего свойства в результате химического или термического воздействия. В отходах предприятий содержится не природный протолигнин, а в измененные лигниносодержащие вещества или смеси таких веществ. Они обладают большой химической и биологической активностью [2].

Сфера применения лигносодержащих веществ зависит от способа, в результате которого они были получены. Гидролизный лигнин – аморфное порошкообразное вещество с плотностью 1,25...1,45 г/см<sup>3</sup> светло-кремового или темно-коричневого цвета со специфическим запахом. Молекулярная масса 5000...10000. Размеры частиц лигнина от нескольких миллиметров до микронов (и меньше). Содержание в гидролизном лигнине собственно лигнина колеблется в пределах 40...88 %, трудногидролизуемых полисахаридов 13...45 %, смолистых веществ лигногуминового комплекса 5...19 %, зольных элементов 0,5...10 %. Состав золы лигнина: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1%; SiO<sub>2</sub> – 93,4 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 1,5 %; CaO – 1,5 %; Na<sub>2</sub>O – 0,3 %; K<sub>2</sub>O – 0,3 %; MgO – 0,3 %; TiO<sub>2</sub> – 0,1 %. Лигнин нетоксичен, обладает хорошей сорбционной способностью [1,2].

Одним из наиболее перспективных методов утилизации неиспользуемого лигнина и лигносодержащих соединений является их использование в качестве сырья для производства полимерных композиционных материалов. В области полимерных композитов лигнин может применяться как наполнитель, так и агент, улучшающий совместимость матрицы и наполнителя [3-6].

Целью настоящей работы являлась оценка возможности применения гидролизного лигнина в качестве наполнителя для древесно-полимерных композитов с термопластичной полимерной матрицей (ДПКт). В задачи исследования входило получение серии образцов ДПКт с различным содержанием гидролизного лигнина, определение их физико-механических свойств и установления закономерностей между составом композита и показателями этих свойств в форме уравнений регрессии.

В качестве полимерной матрицы ДПКт использовали полиэтилен низкого давления марки 273-83 (ОАО «Казаньоргсинтез»). В качестве смазывающих агентов применяется стеариновая кислота техническая марки Т-32 (ГОСТ 6484-96) и полиэтиленовый воск (ООО «РусхимНефть»). В качестве компатибилизатора в работе применялся метален F-1018. Использованный в качестве наполнителя гидролизный лигнин был предоставлен Тавдинским гидролизным заводом (г. Тавда). Полученный лигнин был предварительно измельчен в лабораторной мельнице. Его фракционный состав после измельчения представлен в табл. 1.

Таблица 1

Фракционный состав измельченного гидролизного лигнина

Диаметр ячейки, мм	Остаток на сите, %
0,250	38,2
0,280	59,4
0,125	2,4

Для исследования свойств ДПКт, полученных на основе ПЭНД и гидролизного лигнина и оценки влияния одновременно изменяемых технологических факторов, был проведен двухфакторный эксперимент по методу Бокса-Уилсона [7].

Область изменения входных факторов представлена в табл. 2. Матрица эксперимента с кодированными значениями факторов по плану Бокса-Уилсона представлена в табл. 3.

Таблица 2

Области изменения входных факторов

Название параметра	$Z_i$	Значение параметра	
		min (-1)	max (+1)
Массовая доля гидролизного лигнина, %	$Z_1$	20	40
Содержание компатибилизатора, %	$Z_2$	0	2,0

За выходные параметры были взяты следующие свойства ДПКт:

- $y_1$  – предел прочности при изгибе, МПа;
- $y_2$  – твёрдость по Бринеллю, МПа;
- $y_3$  – контактный модуль упругости, МПа;
- $y_4$  – число упругости, %;
- $y_5$  – предел прочности при растяжении, МПа;
- $y_6$  – ударная вязкость, кДж/м<sup>2</sup>;
- $y_7$  – ударная вязкость с надрезом, кДж/м<sup>2</sup>;
- $y_8$  – водопоглощение за 24 ч, % масс.;
- $y_9$  – водопоглощение за 30 суток, % масс.

Таблица 3

Матрица эксперимента с натуральными значениями факторов по плану Бокса-Уилсона

№	Кодированные значения факторов		Натуральные значения факторов	
	$X_1$	$X_2$	$Z_1$ , %	$Z_2$ , %
1	1	1	35	1,5
2	1	-1	35	1,5
3	-1	1	25	0,5
4	-1	-1	25	0,5
5	0	1,47	30	2
6	0	-1,47	30	1
7	1,47	0	40	0
8	-1,47	0	20	1
9	0	0	30	1

По данному плану были получены образцы древесно-полимерных композитов. Их состав и условные обозначения представлены в табл. 4.

Таблица 4

Состав полученных композитов

Условное обозначение композита	Гидролизный лигнин, г	Компатибилизатор, г	Стеариновая кислота, г	ПЭ-воск, г	ПЭНД, г
Л-1	70,0	3	1,5	1,5	124,0
Л-2	70,0	3	1,5	1,5	124,0
Л-3	50,0	1	1,5	1,5	146,0
Л-4	50,0	1	1,5	1,5	146,0

Л-5	60,0	4	1,5	1,5	133,0
Л-6	60,0	2	1,5	1,5	135,0
Л-7	80,0	0	1,5	1,5	117,0
Л-8	40,0	2	1,5	1,5	155,0
Л-9	60,0	2	1,5	1,5	135,0

Средние арифметические значения физико-механических свойств образцов полученных композитов приведены в табл. 5.

Наибольшей прочностью при изгибе обладают композиты Л-3 и Л-8, максимальной твердостью по Бринеллю имеет композит Л-6. Наибольшим контактным модулем упругости и числом упругости обладает композит Л-9. Максимальным пределом прочности при растяжении и ударной вязкостью с надрезом выделился композит Л-8.

Наибольшее значение ударной вязкости 9,3 кДж/м<sup>2</sup> и минимальное водопоглощение за 24 часа и 30 суток имеет композит Л-3.

Таблица 5

Физико-механические свойства ДПКт

Свойства	Композит								
	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	Л-5	Л-6	Л-7	Л-8	Л-9
Прочность при изгибе, МПа	30,0	28,8	40,0	37,9	39,0	33,6	29,3	40,0	37,7
Твёрдость по Бринеллю, МПа	49,5	54,5	57,0	58,5	20,9	63,8	53,2	52,0	71,8
Контактный модуль упругости, МПа	600	672	707	728	703	803	653	636	912
Предел прочности при растяжении, МПа	11,1	11,9	17,0	15,8	14,5	13,0	11,5	17,5	14,3
Число упругости, %	59,0	61,3	64,2	68,4	32,4	69,6	63,1	71,0	71,9
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	5,5	5,9	9,3	7,3	7,8	6,9	4,8	8,5	8,4
Ударная вязкость с надрезом, кДж/м <sup>2</sup>	5,4	6,5	7,4	6,7	7,0	8,2	5,7	8,3	7,1
Водопоглощение за 24 ч, % масс.	0,4	0,4	0,1	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3
Водопоглощение за 30 суток, % масс.	1,6	2,83	0,7	0,9	0,9	0,8	1,5	1,8	1,5

Диаграмма процесса водопоглощения образцов ДПКт приведена на рис. 1.

Представленные зависимости водопоглощения свидетельствуют о том, что эталонный композит на основе ДМ и ПЭНД поглощает 1,5 % за 30 суток, только 3 композита содержащие лигнин (Л1, Л2 и Л9) демонстрируют водопоглощение большее чем у эталона. Можно сделать вывод о том, что гидролизный лигнин в целом повышает водостойкость ДПКт.

Для получения экспериментально-статистических моделей свойств ДПКт средствами программы Microsoft Excel был проведен регрессионный анализ полученных результатов эксперимента с вероятностной оценкой адекватности полученных моделей.

Экспериментально-статистические модели объектов представлялись в виде полинома второй степени с линейными эффектами факторов:

$$y = b_0 + b_1 \cdot Z_1 + b_2 \cdot Z_2 + b_3 \cdot Z_1 \cdot Z_1 + b_3 \cdot Z_2 \cdot Z_2 + b_4 \cdot Z_1 \cdot Z_2,$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  – коэффициенты уравнения для входных факторов;  $Z_1, Z_2$  – кодированные значения входных факторов.



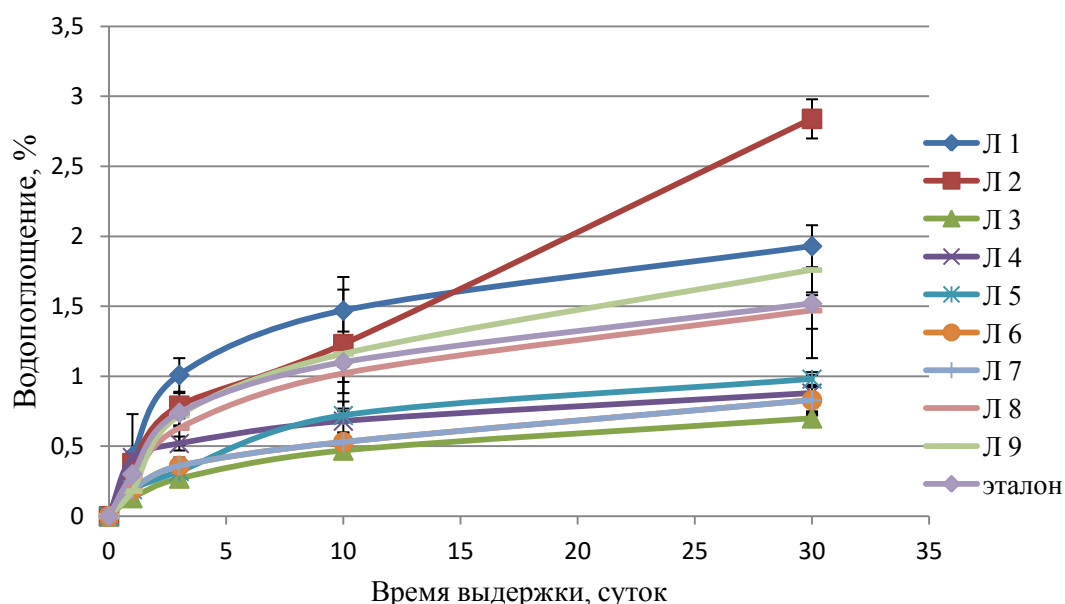


Рис.1. График зависимости водопоглощения от времени выдержки

По результатам регрессионного анализа были получены следующие уравнения регрессии, описывающие экспериментальные данные с вероятностью Р:

$$\begin{aligned}
 y_{\text{сн}} &= 8,6 + 2,5 \cdot Z_1 + 5,99 \cdot Z_2 - 0,05 \cdot Z_1 \cdot Z_1 + 3,5 \cdot Z_2 \cdot Z_2 - 0,44 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (P=0,937); \\
 y_{\text{НБ}} &= -80,1 + 6,8 \cdot Z_1 + 81,7 \cdot Z_2 - 0,09 \cdot Z_1 \cdot Z_1 - 34,17 \cdot Z_2 \cdot Z_2 - 0,87 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (P=0,970); \\
 y_{\text{Е}} &= -2542,5 + 196 \cdot Z_1 + 1137,3 \cdot Z_2 - 2,9 \cdot Z_1 \cdot Z_1 - 143,1 \cdot Z_2 \cdot Z_2 - 28,7 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (P=0,877); \\
 y_{\text{У}} &= 59,2 - 1,33 \cdot Z_1 + 62,7 \cdot Z_2 + 0,036 \cdot Z_1 \cdot Z_1 - 28,9 \cdot Z_2 \cdot Z_2 - 0,48 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (P=0,987); \\
 y_{\text{д}} &= 25,4 - 0,2 \cdot Z_1 - 3,7 \cdot Z_2 - 0,003 \cdot Z_1 \cdot Z_1 + 1,6 \cdot Z_2 \cdot Z_2 - 0,005 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (P=0,957); \\
 y_{\text{а}} &= -3,9 + 0,9 \cdot Z_1 + 8 \cdot Z_2 - 0,02 \cdot Z_1 \cdot Z_1 - 0,13 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (P=0,823); \\
 y_{\text{ан}} &= -5,3 + 0,7 \cdot Z_1 + 10,2 \cdot Z_2 - 0,0099 \cdot Z_1 \cdot Z_1 - 1,2 \cdot Z_2 \cdot Z_2 - 0,24 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (P=0,814); \\
 y_{\text{ВП1}} &= 0,72 - 0,012 \cdot Z_1 - 0,87 \cdot Z_2 + 0,026 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (P=0,853); \\
 y_{\text{ВП30}} &= 7 - 0,52 \cdot Z_1 + 2,35 \cdot Z_2 + 0,0095 \cdot Z_1 \cdot Z_1 - 0,73 \cdot Z_2 \cdot Z_2 - 0,015 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (P=0,812).
 \end{aligned}$$

В заключении отметим, были получены древесно-полимерные композиты с гидролизным лигнином. Содержание наполнителя изменялось от 20 до 40 масс. %, содержание компатибилизатора изменялось от 0 до 2,0 масс. %. Из полученных древесно-полимерных композитов были подготовлены стандартные образцы для испытаний и оценены их физико-механические свойства.

Установлен ряд закономерностей влияния содержания в композитах гидролизного лигнина и компатибилизатора на следующие показатели свойств ДПКт: твердость по Бринеллю, число и модуль упругости, ударная вязкость и ударная вязкость с надрезом по Динстат-Дис, водопоглощение образцов ДПКт, прочность при изгибе, прочность при разрыве и относительное удлинение.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что композиты с гидролизным лигнином в качестве наполнителя, по своим эксплуатационным свойствам соответствуют уровню композитов с полиэтиленовой полимерной матрицей, наполненных древесной мукой. Низкое водопоглощение и высокая ударная вязкость композитов полученных по разработанной рецептуре является важнейшим конкурентным преимуществом данного материала.

### Список литературы

1. About Lignin// The International Lignin Institute. URL: <http://www.ili-lignin.com/aboutlignin.php> (дата обращения – 21.11.16)

2. Абушенко А.В. Лигнин. Что такое лигнин, происхождение, получение, свойства и применения лигнина// Сетевая Академия Мебели. 2008. URL: [http://c-a-m.narod.ru/material/lignin\\_definition.html](http://c-a-m.narod.ru/material/lignin_definition.html) (дата обращения – 21.11.16)
3. Alexya, P., Ko si 'kova ', B., Podstra 'nska, G., 2000. The effect of blending lignin with polyethylene and polypropylene on physical properties. Polymer 41, 4901.
4. Acha, B.A., Marcovich, N.E., Reboredo, M.M., 2009. Lignin in jute fabric polypropylene composites. Journal of Applied Polymer Science 113(3), 1480.
5. Alexy, P., Kosikova, B., Crkonova, G., Gregorova, A., Martis, P., 2004. Modification of lignine polyethylene blends with high lignin content using ethylene-vinylacetate copolymer as modifier. Journal of Applied Polymer Science 94, 1855.
6. O. Faruk Lignin in polymer composites/ Faruk O., Sain. M. – Wal-tham: Elsevier, 2016. – 252 P
7. Ахнназарова С. Л., Кафаров В. В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии М.: Высш. Шк., 1985. – 327 с.

---

УДК 678

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИВИВКИ КАРДАНОЛА К ПОЛИЭТИЛЕНУ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ

**Кулаженко Юлия Маратовна,**  
студент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [kulazhenkoyuliya@mail.ru](mailto:kulazhenkoyuliya@mail.ru)

**Шкуро Алексей Евгеньевич,**  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [zj@weburg.me](mailto:zj@weburg.me)

**Кривоногов Павел Сергеевич,**  
аспирант, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [aich.kps82@gmail.com](mailto:aich.kps82@gmail.com)

**Ключевые слова:** карданол, полиэтилен, прививка, механохимическая активация, показатель текучести расплава.

**Аннотация.** Методом механохимической активации были получены образцы полиэтилена низкого давления привитого карданолом с различным содержанием карданола. Определен показатель течения расплава полученных образцов. Установлены закономерности влияния содержания карданола и инициатора в оставшейся реакционной смеси на текучесть полученного сополимера.

## RESEARCH OF CARDANOL GRAFTING TO HIGH DENSITY POLYETHYLENE BY MECHANOCHEMICAL ACTIVATION

**Kulazhenko Yuliya Maratovna,**  
student, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [kulazhenkoyuliya@mail.ru](mailto:kulazhenkoyuliya@mail.ru)

**Shkuro Aleksey Evgenievich,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [zj@weburg.me](mailto:zj@weburg.me)

Krивonogov Pavel Sergeevich,  
graduate student, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [kps82@gmail.com](mailto:kps82@gmail.com)

**Key words:** cardanol, polyethylene, grafting, mechanochemical activation, melt flow index.

**Abstract.** Samples of cardanol-grafted low pressure polyethylene with various cardanol contents were obtained by the method of mechanochemical activation. The melt flow rate of these samples was determined. The regularities of cardanol and initiator content effect on the obtained copolymer fluidity were established.

Полиэтилен низкой низкого давления (ПЭНД) или полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) широко применяется в разнообразных отраслях человеческой деятельности. Еще одним перспективным направлением его применения могла бы стать трехмерная печать по методу послойного наплавления (FDM) [1]. Применение ПЭНД в этой технологии могло бы существенно расширить номенклатуру получаемых по ней изделий, улучшить их эксплуатационные свойства и снизить себестоимость их изготовления. Однако сегодня применение ПЭНД в 3D-печати сталкивается с рядом трудностей. Одной из таких трудностей является недостаточно высокая текучесть расплава данного полимера, обусловленная его высокой степенью кристалличности. Поэтому, для полноценной интеграции ПЭНД в отрасль трехмерной печати важной задачей является повышение его текучести, которое бы в свою очередь не привело к падению физико-механических свойств полимера. Исследования, проведенные на кафедре ТЦБП и ПП Уральского государственного лесотехнического университета, показали, что эффективным способом повышения текучести полиэтилена высокой плотности является прививка к нему карданола методом механохимической активации [2].

Карданол это алкилфенол природного происхождения (рис.1), имеющий в боковом заместителе от одной до трех двойных связей. Карданол является побочным продуктом переработки орехов кешью и основным компонентом, содержащимся в их скорлупе [3,4]. Имеются экспериментальные данные о возможности полимеризации карданола по двойным связям бокового заместителя по радикальному и ионному механизму и его пластифицирующем эффекте [5-10].

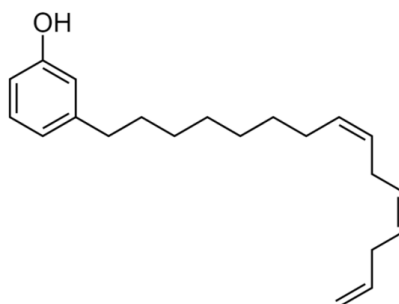


Рис. 1. Структурная формула карданола

Целью настоящей работы являлось исследование прививки карданола к полиэтилену низкого давления, подразумевающее установление закономерностей влияния на этот процесс содержания в реакционной смеси инициатора радикального типа (пероксида бензоила) и массовой доли привитого карданола в составе полученного сополимера. Пользуясь наработками предыдущих исследований, в качестве критерия успешности прививки карданола применяли величину изменения показателя текучести расплава (ПТР) полученного сополимера по сравнению с исходным образцом ПЭНД.

В работе использовался полиэтилен низкого давления марки 273-83 (ГОСТ 16338-85) производитель ОАО «Казаньоргсинтез» и карданол технический, предоставленный ОАО

«Уралхимпласт». Характеристика использованного в работе карданола приведена в таблице 1. В качестве инициатора был использован пероксид бензоила технический (ГОСТ 14888-78, 1-й сорт). Прививка карданола к полиэтилену осуществлялась методом механохимической активации в лабораторной мельнице КА A11 Basic. Показатель текучести расплава (ПТР) используемых в работе полимеров и ДПС определялся на приборе ИИРТ-А (ГОСТ 11645-73) при температуре 190 °С, внутреннем диаметре капилляра 2,095 мм, нагрузках 49 и 98 Н.

Таблица 1

Свойства использованного в работе карданола

Наименование показателя	Значение
Массовая доля нелетучих веществ, %, не менее	99,5
Вязкость динамическая при 20±1°С, сПз	67,2
Плотность при 20±1°С, г/см <sup>3</sup>	0,928
Показатель преломления при 20±1°С	1,512

Для изучения влияния содержания карданола и пероксида бензоила в реакционной смеси на показатель текучести расплава полученного сополимера был проведен трехуровневый полный двухфакторный эксперимент. Области изменения входных факторов в проведенном эксперименте представлены в табл. 2. План и результаты эксперимента показаны в табл. 3.

Таблица 2

Область изменения входных факторов

Входные факторы	Натуральные значения входных факторов ( $Z_i$ ) при их следующих нормализованных значениях ( $x_i$ )		
	$x_i = -1$	$x_i = 0$	$x_i = +1$
Содержание карданола, % мас. от массы смеси ( $Z_1$ )	0,5	1,5	2,5
Содержание пероксида бензоила, % мас. от массы смеси ( $Z_2$ )	0,25	0,5	0,75

Таблица 3

План и результаты эксперимента

№ Опыта	$X_1$	$X_2$	$Z_1, \%$	$Z_2, \%$	ПТР, г/10 минут	
					при P=49Н	при P=98Н
1	-1,0	-1,0	5	0,25	0,144	0,683
2	-1,0	0,0	5	0,5	0,134	0,6802
3	-1,0	1,0	5	0,75	0,139	0,6803
4	0,0	-1,0	15	0,25	0,1714	0,8575
5	0,0	0,0	15	0,5	0,191	0,8626
6	0,0	1,0	15	0,75	0,193	0,9997
7	1,0	-1,0	25	0,25	0,2165	0,9505
8	1,0	0,0	25	0,5	0,2716	1,807
9	1,0	1,0	25	0,75	0,179	0,9096

По данным табл. 3 в программе STATISTICA 10 был проведен многофакторный регрессионный анализ результатов эксперимента с доверительной вероятностью 0,95 при последовательном исключении из уравнения регрессии его членов с незначимыми коэффици-

ентами. Наилучшим из адекватных для доверительной вероятности 0,95 уравнений регрессии принималось уравнение с максимальной величиной нормированного коэффициента детерминации ( $R_n^2$ ) и минимальной величиной выборочного стандартного отклонения остатков (стандартной ошибкой). Выбранные наилучшие уравнения регрессии для изученных свойств образцов ДПКт и их статистические характеристики приведены в табл. 4.

Таблица 4

Статистические характеристики полученных уравнений регрессии

Свойство	Уравнение регрессии	Нормированный коэффициент детерминации $R_n^2$	Выборочное стандартное отклонение остатков
ПТР при нагрузке 49Н, г/10 минут	$0,12+0,0042*Z_1$	0,644	0,026
ПТР при нагрузке 98Н, г/10 минут	$0,12+0,027*Z_1$	0,375	0,275

Данные табл.4 показывают, что вследствие большего разброса значений, не удалось создать математическую модель с высокой достоверностью описывающую зависимость показателя текучести расплава сополимера карданола и полиэтилена высокой плотности от содержания карданола и пероксида бензоила в реакционной смеси. Об этом говорит низкое значение нормированного коэффициента детерминации (0,375) и достаточно высокое значение показателя стандартной ошибки (0,275). Однако в обоих случаях (ПТР при нагрузке 49 и 98 Н) регрессионный анализ показал статистическую незначимость коэффициента, описывающего влияние содержания в реакционной смеси пероксида бензоила.

Таким образом, в рассмотренном интервале от 0,25 до 0,75 % от массы смеси присутствие пероксида бензоила не оказывает влияние на текучесть расплава полученного сополимера и как следствие на эффективность процесса прививки.

Результаты испытаний показывают, что ПТР возрастает с увеличением содержания карданола в составе сополимера. Прививка карданола к ПЭНД является эффективным способом снижения вязкости его расплава. Таким способом, можно достичь увеличения ПТР в 2 и более раз.

#### Список литературы

1. Моделирование методом послойного наплавления (FDM). Режим доступа: [http://3dtoday.ru/wiki/FDM\\_print](http://3dtoday.ru/wiki/FDM_print) (Дата обращения: 7.05.2017)
2. Шкуро А. Е. Влияние содержания карданола в полимерной матрице на свойства древесно-полимерных композитов/ А. Е. Шкуро, В. В. Глухих, Н. М. Мухин, И. Г. Григоров, О. Ф. Шишлов, О. В. Стоянов // Вестник Казанского технологического университета . - 2012. - Т. 15. - № 22. - С. 97-100.
3. Talbiersky, J. Phenols from Cashew Nut Shell Oil as a Feedstock for Making Resins and Chemi-cals / J.Talbiersky, J.Polaczek, Rajaraman R., Shishlov O. // OIL GAS Europeen Magazine. - 2009. - № 1. - P. 33-39.
4. Шишлов, О.Ф. Синтез, свойства и применение продуктов поликонденсации карданола с формальдегидом (обзор) / О.Ф.Шишлов, В.В.Глухих // Химия растительного сырья. - 2011. - № 1. - С. 5-16.
5. Chen, Q. Preparation of Polypropylene-graft-Cardanol by Reactive Extrusion and Its Composite Material with Bamboo Powder / Q.Chen, H.Xue, J.Lin // J Appl. Polym. Sci. – 2010. – V. 115. – P. 1160–1167.
6. Antony, R. GPC Studies on The Cationic Polymerization of Cardanol Initiated by Borontrifluoridediethyletherate / R.Antony, C. K. S.Pillai // J. Appl. Polym. Sci. - 1990. - V. 41. - No. 7-8. - P. 1765-1775.

7. John, G. Grafting of bio-monomers. 1. Cat-ionic graft copolymerisation of cardanol using borontri-fluoridediethyletherate onto cellulose / G. John, C. K. S. Pillai // Polym. Bull. - 1989. - V. 22. - No 1. - P. 89-94.
8. Manjula, S. Kinetics and Mechanism of Oligomerization of Cardanol Using Acid Catalysts / S. Manjula, V. G. Kumar, C. K. S. Pillai // J. Appl. Polym. Sci. - 1992. - V. 45. - No. 2. - P. 309-315.
9. Glukhikh, V. Aushärtungsverhalten von Phenol-Cardanol-Formaldehyd-Harzen / V. Glukhikh, O. Shishlov, J. Talbiersry // Holztechnologie. - 2010. - V. 51. - Bd. 1. - S. 22-26.
10. Шишлов, О.Ф. Влияние отвердителей на кинетику отверждения резольных фенол-карданол-формальдегидных смол/ Шишлов О.Ф., Баулина Н.С., Глухих В.В. // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - Т.15. - № 6. - С. 38-41.

---

УДК 661.666.4:676:678.83

### УТИЛИЗАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПРИМЕРЕ ОТРАБОТАННЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ СЕТОК БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

Шушкова Марина Геннадьевна,  
магистрант, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [shushkovam@gmail.com](mailto:shushkovam@gmail.com)

Ширинкина Екатерина Сергеевна,  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [e-pashukova@mail.ru](mailto:e-pashukova@mail.ru)

**Ключевые слова:** *отработанная полиэфирная сетка, геотекстильный материал, карбонизат, лигносульфонаты, активные угли, пористая структура, сорбционная активность.*

**Аннотация.** *Представлены результаты исследований по утилизации отходов отработанных полиэфирных сеток бумагоделательных машин целлюлозно-бумажных предприятий, проанализированы их физико-химические свойства для дальнейшего использования в качестве геотекстильных материалов. Выполнены исследования по получению карбонизата из образцов отработанной полиэфирной сетки. Выполнены исследования пористой структуры и сорбционной активности полученных образцов. Установлено, что полученные образцы карбонизата могут быть использованы в качестве сырья для производства сорбентов.*

### PROCESSING OF POLYMERIC WASTE PULP AND PAPER INDUSTRY ON THE EXAMPLE OF SPENT POLYESTER MESHES OF PAPER MACHINES

Shushkova Marina Gennadievna,  
second year master student, Perm national research polytechnic university,  
Perm, E-mail: [shushkovam@gmail.com](mailto:shushkovam@gmail.com)

Shirinkina Ekaterina Sergeevna,  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Perm national research polytechnic university, Perm, E-mail: [e-pashukova@mail.ru](mailto:e-pashukova@mail.ru)

**Key words:** *spent polyester mesh, geotextile material, carbonizate, lignosulfonates, active carbons, porous structure, sorption activity.*

**Abstract.** *The results of research on the utilization of wastes of waste polyester meshes of paper-making machines of pulp and paper enterprises are presented, their physico-chemical proper-*



*ties for further use as geotextile metharyls are analyzed. Studies were made to obtain carbonizate from samples of spent polyester mesh. The porous structure and sorption activity of the obtained samples were studied. It was found that the obtained samples of carbonizate can be used as raw material for the production of sorbents.*

В целлюлозно-бумажной промышленности ежегодно образуется огромное количество отходов производства и потребления.

На одном из предприятий целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) основным потоком являются древесные отходы, которые в настоящее время успешно перерабатываются. Вспомогательным потоком являются полимерные отходы, которые размещаются (в части захоронения) в окружающей среде и негативно воздействуют на неё на протяжении многих лет. Виды полимерных отходов ЦБП: отходы пленки полиэтилена, полипропилена и изделий из них незагрязненные, отходы полипропиленовой тары незагрязненные, а также отходы отработанной полиэфирной сетки бумагоделательных машин.

Согласно распоряжению Правительства РФ от 25 июля 2017 г. № 1589-р вводится запрет на захоронение отходов ЦБП, а именно: промышленного картона, бумаги, картонной и бумажной упаковки, гофротары, гофрокартона и т.д. Помимо отходов ЦБП, в списке присутствуют автомобильные шины и покрышки, полиэтилен и полиэтиленовая упаковка, стекло и стеклотара и т.д. [1].

Цель данного распоряжения - стимулировать переработку отходов, что помимо существенного улучшения экологической обстановки в стране позволит получить дополнительную прибыль. Решение проблемы утилизации полимерных отходов предприятия ЦБП является актуальной задачей. В связи с образованием значительных объемов отходов отработанной полиэфирной сетки бумагоделательных машин большой интерес представляет возможность их утилизации.

В настоящее время не разработаны методы переработки полиэфирной сетки БДМ с использованием ее ресурсного потенциала. В результате анализа литературных данных было установлено, что сетка имеет высокую стойкость к атмосферным воздействиям, устойчивость к действиям минеральных и органических кислот, щелочей и органических растворителей [2].

Отходы отработанной полиэфирной сетки, образующиеся на предприятии ЦБП имеют следующие размеры: 46...98 м по длине и 7 м по ширине. Также имеются куски более меньших размеров – 5 м по длине и 1...3 м по ширине). При анализе методов утилизации отработанной сетки, также учитывался ее размер. Одним из направлений применения ресурсного потенциала полиэфирной сетки с большим размером является ее использование в дорожном строительстве в качестве геотекстильных материалов для разделения слоев дорожной одежды [3,4]. Для этого, был проведен сравнительный анализ физико-химических свойств полиэфирной сетки и геотекстильного материала, который представлен в табл.1.

Таблица 1

Сравнительный анализ физико-химических свойств полиэфирной сетки и геотекстильного материала

Наименование	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Толщина, мм	Разрывная нагрузка при разрыве, кН/м	Температурный перепад, °С
Сетка тканая сушильная синтетическая	1050...1150	1,4...1,6	1300	-40 до +100 (при +230 – размягчается полиэфир)
Геотекстиль	80...600	0,95...3,9	150...1260	-60 до +100

Как видно из представленных данных, полиэфирная сетка выдерживает широкий диапазон перепадов температур и может быть использована в различных климатических поясах. Кроме того, отработанная полиэфирная сетка не уступает геотекстилю по прочностным свойствам.

Использование ресурсного потенциала обрывов отработанной полиэфирной сетки меньшего размера может быть реализовано путем термической деструкции методом низкотемпературного пиролиза (400...600 °С). В данном температурном интервале происходит разложение полиэфиров до образования пиролизных газов, которые могут быть сконденсированы с получением жидкой фазы, свойства которой близки к свойствам котельного топлива и твердой фазы – карбонизата, который может рассматриваться в качестве сырья для производства сорбентов.

В лабораторных условиях были выполнены исследования по получению карбонизата из полиэфирной сетки на пиролизной установке фирмы RONDE. Пиролиз выполняли в температурном диапазоне: 400, 500, 600, 650 °С; продолжительность процесса варьировалась от 15 до 60 минут. Полученные образцы карбонизата оценивались с точки зрения их сорбционных свойств. Результаты исследования сорбционных свойств карбонизата представлены в табл. 2.

Таблица 2

Определение сорбционных свойств карбонизата (неактивированного), полученного при разных температурных режимах

Номер образца	Температура получения карбонизата, °С	Суммарный объем пор по влагоемкости, см <sup>3</sup> /г	Нефтепродукты, кг/г
1	400	1,15	0,68
2	500	1,20	0,90
3	600	1,17	0,83
4	650	1,15	0,61

Из представленных результатов видно, что наибольшей сорбционной активностью к нефтепродуктам обладает образец 2, полученный при 500 °С, что согласуется с результатами оценки влагоемкости образцов. С целью исследования возможности повышения сорбционных свойств карбонизата выполняли исследования по активации полученных образцов. Активация полученных образцов карбонизата производилась в лабораторных условиях с использованием пара, КОН в соотношении 1:1 к карбонизату, добавлением КОН в соотношении 2:1 к исходной полиэфирной сетке с последующим ее пиролизом при температуре 800 °С и времени выдержки в печи 30 минут (табл. 3).

Таблица 3

Исследования сорбционных свойств полученного активированного карбонизата из сетки БДМ

Номер образца	Сорбционная активность по йоду, %	Адсорбционная активность по метиленовому голубому, мг/г	Известные марки активированных углей		
			БАУ	ДАК	ОУ-А,Б
			Сорбционная активность по йоду, %		Адсорбционная активность по метиленовому голубому, мг/г
1	34,2	108	60	30	225, 210
2	52,6	80			
3	44,5	85			

Образец № 1 – карбонизат, активированный паром; образец № 2 – карбонизат активированный гидроксидом калия в соотношении (1:1); образец № 3 – карбонизат, полученный при пиролизе сетки в присутствии КОН (1:2).

В результате лабораторных исследований сорбционных свойств активированного карбонизата установлено, что образцы карбонизата № 2 (активированный КОН в соотношении 1:1) и № 3 (активированный КОН в соотношении 2:1) имеют хорошую сорбционную активность по йоду, отвечающую требованиям предъявляемым к активным углям марок ДАК (не менее 30), что свидетельствует о наличии микропор в их структуре [5].

На основании научно-технической информации [6] в процессе пиролиза-активации лигносульфонатов формируется развитая щелевидная пористая структура угля, включающая микропоры полушириной 0,50...0,64 нм. Поэтому для формирования более пористой структуры активных углей был проведен эксперимент по карбонизации полиэфирной сетки в присутствии лигносульфонатов технических порошкообразных при совместной активации КОН (40-% раствор) в соотношении 10:1. Результаты исследований представлены в табл. 4.

Таблица 4

Основные параметры пористой структуры образцов карбонизата, полученных из отходов полиэфирной сетки и лигносульфонатов ЦБП

Показатели	Образцы карбонизата		Марка активированного угля
	№ 1	№ 2	КАУ
1	2	3	4
Суммарный объем пор, $V_{\Sigma}$ , см <sup>3</sup> /г	0,04	0,12	0,8...0,9
Объем микропор, $V_{ми}$ , см <sup>3</sup> /г	0,09	0,26	0,35...0,41
Объем мезопор, $V_{ме}$ , см <sup>3</sup> /г	0,04	0,12	0,10...0,12
Объем макропор, $V_{ма}$ , см <sup>3</sup> /г	0,06	0,13	0,35...0,40
Предельный объем сорбционного пространства, $W_0$ , см <sup>3</sup> /г	0,15	0,38	0,45...0,56
Характеристическая энергия адсорбции, $E_0$ , кДж/моль	15	19	24...26
Размер полуширины щели микропор, $X$ , нм	0,85	0,68	0,45...0,55
Площадь поверхности микропор, $S_m$ , м <sup>2</sup> /г	257	724	730...770
Площадь поверхности, $S_{БЭТ}$ , м <sup>2</sup> /г	225,20	630,8	-
Объем сорбционного пространства, $W_s$ , см <sup>3</sup> /г	0,14	0,35	0,45...0,5

Образец № 1 – смесь отходов полиэфирной сетки и лигносульфонатов с гидроксидом калия (в соотношении 10:1); Образец № 2 – смесь отходов полиэфирной сетки с гидроксидом калия (в соотношении 10:1).

Из приведенных данных в табл.4, можно сделать вывод о том, что образец 2 обладает лучшими качествами, сопоставимыми с параметрами активированного угля марки КАУ. Косточковый активированный уголь КАУ обладает микропористой структурой, применяется в процессе очистки воды для дехлорирования и удаления озона [7].

Таким образом, отработанная полиэфирная сетка может успешно использоваться в народном хозяйстве в качестве аналога геотекстильных материалов при разделении слоев родной одежды и в качестве сырья для получения сорбционных материалов. Поскольку тех-

нология пиролиза позволяет утилизировать полимерные отходы разнородного состава, она может быть рекомендована в качестве основного направления при решении вопроса обращения с многокомпонентными полимерными отходами целлюлозно-бумажных предприятий.

### Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 25 июля 2017 г. № 1589-р.
2. Полимеры. Геоткани: назначение и классификация.//Академия Конъюнктуры Промышленных Рынков. Аналитический портал химической промышленности. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.newchemistry.ru> (дата обращения 01.03.2018).
3. ООО «Нево-кросс». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nevo-cloth.ru> (дата обращения 02.03.2018).
4. Оруджова О.Н. Влияние гибких геотекстильных прослоек на прочность дорожных конструкций // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2013. №4 (334).- С.54-59.
5. Шушкова М.Г., Ширинкина Е.С. Оценка возможности использования ресурсного потенциала отработанных формующих полиэфирных сеток бумагоделательных машин//Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. Материалы конференции. Изд-во: Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – 2017. Т.1. – С.163-166.
6. Белецкая М.Г. Синтез углеродных адсорбентов методом термохимической активации гидролизного лигнина с использованием гидроксида натрия: диссертация кандидата технических наук. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова, Архангельск, 2014.
7. Компания ЭКОФИЛЬТР - Очистка питьевой воды. [Электронный ресурс]. URL: <http://ecofilter.com.ua> (дата обращения 05.03.2018).
8. Гиндулин И.К. Технический анализ нанопористых материалов. Методические указания для выполнения лабораторных работ: Уральский государственный лесотехнический университет, 2011. – 16 с.
9. Sanghamitra Sen, Shradha Patil , Dimitris S. Argyropoulos. Thermal properties of lignin in copolymers, blends, and composites: a review. Journal of Green Chemistry 2015.Vol.17. pp.1-29.

---

УДК 661.728.2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК

Носкова Ольга Алексеевна,

канд. техн. наук, доцент,

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [tcbp@pstu.ru](mailto:tcbp@pstu.ru)

Мизев Александр Николаевич,

магистрант, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [tcbp@pstu.ru](mailto:tcbp@pstu.ru)

Сунцев Павел Романович,

магистрант, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [tcbp@pstu.ru](mailto:tcbp@pstu.ru)

*Ключевые слова:* древесные опилки, хвойная древесина, варка целлюлозы, гидролиз, азотная кислота, порошковая целлюлоза, степень полимеризации.

**Аннотация.** Показано, что из древесных хвойных опилок можно получить порошковую целлюлозу с использованием следующих стадий: делигнификации (варки) исходного древесного сырья, гидролиза азотной кислотой полученной технической целлюлозы с образованием порошка, отбели раствора пероксида водорода порошковой целлюлозы.

## STUDY THE POSSIBILITY OF OBTAINING A POWDER PULP FROM SAWDUST

Noskova Olga Alekseevna,  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Perm national research polytechnic university, Perm, E-mail: [tcbp@pstu.ru](mailto:tcbp@pstu.ru)

Mizev Aleksandr Nikolaevich,  
master student, Perm national research polytechnic university,  
Perm, E-mail: [tcbp@pstu.ru](mailto:tcbp@pstu.ru)

Suncev Pavel Romanovich,  
master student, Perm national research polytechnic university,  
Perm, E-mail: [tcbp@pstu.ru](mailto:tcbp@pstu.ru)

**Key words:** sawdust, coniferous wood, pulp cooking, hydrolysis, nitric acid, powder cellulose, degree of polymerization.

**Abstract.** It is shown that from wood coniferous sawdust it is possible to obtain powder cellulose using the following stages: delignification (cooking) of the initial wood raw materials, hydrolysis of nitric acid by the obtained technical cellulose with the formation of powder, bleaching with a solution of hydrogen peroxide of powder cellulose.

В настоящее время остро встает вопрос рационального использования лесных ресурсов. В связи с этим одной из актуальных проблем является утилизация древесных отходов, которые в значительных объемах ежегодно образуются на предприятиях лесной отрасли.

Одним из решений этой проблемы является комплексное использование древесного сырья за счет увеличения использования древесных отходов и всей биомассы дерева. Комплексное использование древесных ресурсов подразумевает использование безотходных или малоотходных технологий обработки и переработки древесины с полной утилизацией образующихся отходов. К сожалению, из-за низкого уровня технологических процессов на стадиях деревообработки и деревопереработки теряется почти половина биомассы дерева. Отходы образуются на всех стадиях лесозаготовки и деревопереработки.

Ежегодно в лесопильной и деревообрабатывающей промышленности образуется около 69 млн.м<sup>3</sup> древесных отходов, из них 40 % приходится на мелкие и мягкие отходы (опилки, стружка и т.д.). Опилки используются не более 30 % от общего объема. Наибольшая их часть вывозится на свалки для перегнивания или сжигается в отвалах [1].

Направление использование отходов зависит от их размеров, качественных характеристик и экономических факторов. Опилки широко используются для производства топливных брикетов или пеллет, применяются как технологическое сырье для плитного, гидролизного и лесохимического производства, в целлюлозно-бумажной промышленности для получения целлюлозы сульфатным способом (на Усть-Илимском ЛПК), для изготовления композиционных материалов [2]. В последнее время ведутся работы по использованию древесных опилок в качестве сырья для производства порошковой целлюлозы [3,4].

Порошковая микрокристаллическая целлюлоза – новый тип промышленных препаратов целлюлозы, который находит широкое применение практически во всех сферах деятельности, в частности, в виде легкосыпучего порошка в фармацевтической, парфюмерной и пищевой промышленности, в качестве адсорбентов и фильтрующих материалов технического назначения.

Для получения порошковой целлюлозы традиционно используют техническую волокнистую целлюлозу - древесную или хлопковую.

На кафедре ТЦБП ПНИПУ разработана технология получения порошковой целлюлозы из вискозной сульфитной и хлопковой целлюлозы. Порошковая целлюлоза предназначена для использования в пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности. Процесс получения порошковой целлюлозы по разработанной технологии включает следующие стадии: гетерогенный гидролиз волокнистого целлюлозосодержащего сырья растворами минеральных кислот, промывку полученной порошкообразной целлюлозы, ее сушку, диспергирование и сортирование.

Одним из возможных вариантов исходного сырья для порошковой целлюлозы могут служить древесные опилки.

Цель данной работы – исследование возможности получения порошковой целлюлозы из древесных опилок. Для исследований использовали хвойные опилки, которые образуются при распиловке древесины и являются отходами на одном из деревообрабатывающих предприятий Пермского края. Массовая доля основных компонентов в сырье составила, % от массы абсолютно сухой древесины: целлюлозы – 47,9; лигнина – 27,3; экстрактивных веществ, экстрагируемых органическим растворителем (хлористым метилом) – 1,35, золы – 0,46.

У опилок был определен фракционный состав путем их сортирования через набор сит с круглыми отверстиями (табл. 1).

Таблица 1

Фракционный состав древесных хвойных опилок

Номер фракции	Фракционный состав	Значения	Примечание
	Остаток на ситах с диаметром отверстий, мм:		
1	3	0,8	Присутствуют частицы коры
2	2	6,8	Присутствуют частицы коры
3	1	25,2	
4	поддон	67,2	

Результаты фракционирования показали, что опилки характеризуются очень малыми размерами – преимущественная их длина менее 1...2 мм.

Для получения порошковой целлюлозы при использовании древесных опилок в качестве исходного сырья предлагается следующая схема (рис.1).

Процесс получения порошковой целлюлозы состоит из двух этапов. На первом этапе необходимо провести делигнификацию древесных опилок для удаления основной части лигнина и других нецеллюлозных компонентов с целью получения технической целлюлозы. Второй этап включает гидролиз технической целлюлозы с образованием порошковой целлюлозы, ее отбелку и другие операции, описанные выше.

Делигнификацию древесных опилок можно проводить любыми известными способами. Нами выбраны сульфитный, натронный и экологически безопасный пероксидно-щелочной способы [5]. Условия получения технической целлюлозы приняты на основании литературных данных и приведены в табл. 2 - 4.

Условия получения целлюлозы в первых сериях опытов всех варок приняты более мягкие, чем традиционные с использованием в качестве сырья древесной щепы. Обосновано это тем, размеры опилок намного меньше, чем, щепы и, предполагалось, что пропитка и варки их будут происходить быстрее. Однако при более мягких условиях варки эластичных волокон целлюлозы получить не удалось.

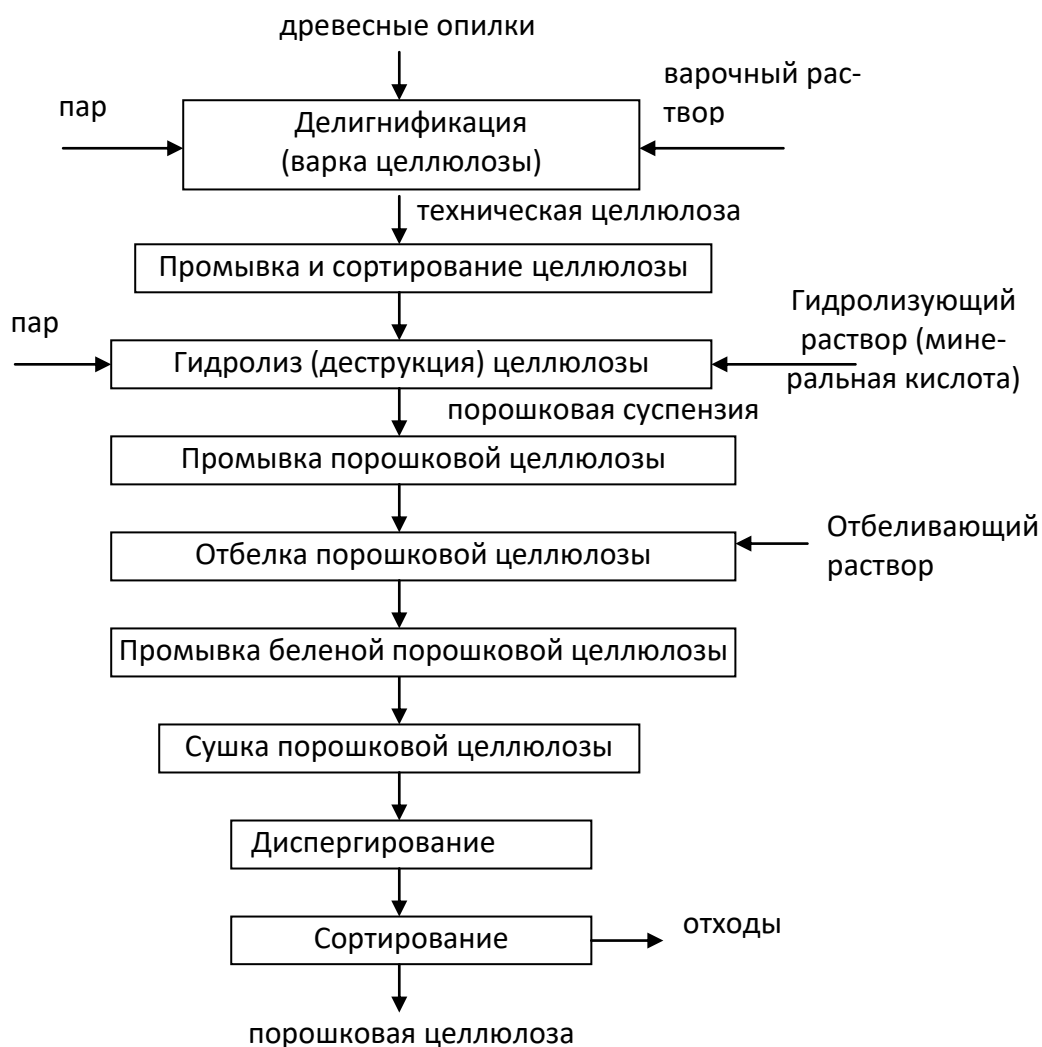


Рис.1. Предлагаемая структурная схема получения порошковой целлюлозы из древесных опилок

Таблица 2

Условия получения целлюлозы из древесных опилок сульфитным способом варки

№ образ-ца	Продолжительность				Результаты варки	
	пропитки		собственно варки			
	подъема тем-пературы, час-мин	стоянки, час-мин	подъема темпе-ратуры, час-мин	стоянки, час-мин	выход цел-люлозы, %	массовая доля лигнина в цел-люлозе, %
С-1	1-00	1-00	1-00	0-40	65,7	8,5
С-2	1-00	1-15	1-00	1-30	56,4	5,2
С-3	1-00	1-30	1-00	2-00	46,7	3,9



Таблица 3

Условия получения целлюлозы из древесных опилок натронным способом варки

№ образ-ца	Расход NaOH, % от абс. сух. древесины (в ед. Na <sub>2</sub> O)	Условия варки			Результаты варки	
		темпе-ратура, °С	продолжитель-ность подъема температуры до конечной, час-мин	продолжи-тельность варки, час-мин	выход цел-люлозы, %	массовая до-ля лигнина в целлюлозе, %
Н-1	15	160	1-10	2-30	67,5	8,5
Н-2	15	160	1-10	3-30	51,4	6,7
Н-3	15	170	1-15	3-00	40,9	5,9
Н-4	17	160	1-10	2-30	41,9	5,0
Н-5	17	160	1-10	3-00	37,2	4,7

Примечание. Гидро модуль варки 5:1

Таблица 4

Условия и результаты получения целлюлозы пероксидно-щелочным способом

№ об-раз-ца	Концентрация в растворе, %:			Результаты варки		Примечание (вид продук-та)
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	катализатора	выход цел-люлозы, %	массовая доля лигнина в цел-люлозе, %	
П-1	6	0,4	0,6	69,7	12,6	опилки
П-2	10	0,6	0,8	56,8	7,4	волокну-опилки
П-3	13	0,8	1,0	43,8	3,2	волокно

Примечание. Постоянные условия варки: температура – 90 °С; продолжительность – 3 ч; гидро модуль – 5.

Полученный продукт был достаточно жестким с высокими значениями выхода и массовой долей лигнина (образцы Н-1, С-1, П-1, П-2). При получении целлюлозы натронным и сульфитным способами по традиционным условиям, а также при высокой концентрации реагентов при пероксидно-щелочном способе варки получены мягкие волокна технической целлюлозы. При более жестких условиях варки произошло снижение выхода целлюлозы и, соответственно, массовой доли лигнина.

Отличительной особенностью натронной целлюлозы в отличие от сульфитной и пероксидно-щелочной является ее темно-коричневый цвет. Для повышения белизны натронной целлюлозы мы проводили ее делигнификацию (отбелку) с использованием экологически-безопасной схемы Пк-Щ-К, разработанной на кафедре ТЦБП ПНИПУ для сульфатной и би-сульфитной целлюлозы [6]. Отбелке подвергали образцы целлюлозы, содержащие невысокую долю лигнина в данной серии опытов (образцы Н-3, Н-4, Н-5).

Отбелку натронной целлюлозы по схеме Пк-Щ-К проводили при температуре 85 °С в течение 2,5...3,0 час с расходом H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10 % от массы абсолютно сухого волокна. Расход пероксида водорода принят высоким. Объясняется это тем, что остаточный лигнин в натронной целлюлозе высоко сконденсирован, что придает темный цвет целлюлозе и усложняет его удаление. По приведенным условиям выход целлюлозы составил 92,4...93,3 %, массовая доля лигнина в целлюлозе 3,0...3,7 %. Белизна целлюлозы повысилась до уровня белизны сульфитной целлюлозы (63,5...64,5 %).

На следующем этапе работы проведены исследования по получению порошковой целлюлозы из технической целлюлозы сульфитной, пероксидно-щелочной делигнифицированной натронной целлюлозы. Порошковую целлюлозу получали методом кислотного гетерогенного гидролиза с использованием в качестве гидролизующего агента азотной кислоты концентрацией 6 % при температуре кипения реакционной смеси и гидромодуле 15:1. Условия гидролиза приняты на основании ранее проведенных исследований для древесной целлюлозы. Гидролиз проводили до достижения порошкообразного состояния целлюлозы. Результаты данной серии опытов приведены в табл.5.

Таблица 5

Результаты гидролиза целлюлозы, полученной различными способами варки

Образец волокнистой целлюлозы для гидролиза	Продолжительность гидролиза, час	Показатели порошковой целлюлозы				
		выход, %	степень полимеризации	белизна, %	фракционный состав, %:	
					крупная фракция	отсортированная фракция
Сульфитная целлюлоза						
С-2	2,5	82,9	320	59,7	25,5	74,5
С-3	3,0	80,5	290	61,3	19,7	80,3
Пероксидно-щелочная целлюлоза						
П-3	3,0	79,8	200	75,4	11,1	88,9
Натронная целлюлоза после делигнификации по схеме Пк-Щ-К						
Н-3	3,0	83,4	290	57,7	20,5	79,5
Н-4	3,0	82,7	255	60,9	18,6	81,4
Н-5	2,5	84,0	250	63,5	17,9	82,1
Примечание. Фракционный состав был определен путем сортирования порошковой целлюлозы через шелковое сито № 32 с получением двух фракций: - крупной фракции, которая представляет остаток на сите (размер частиц более 315 мкм); - отсортированной фракции, прошедшей через отверстия сита (размер частиц менее 315 мкм).						

У порошковой целлюлозы были определены некоторые из основных показателей: выход, степень полимеризации, белизна и фракционный состав.

Порошковая целлюлоза характеризуется невысоким выходом, что связано со значительными потерями в процессе гидролиза и небольшой длиной волокна, так как варке подверглись древесные опилки.

Целлюлозный порошок, полученный из сульфитной и натронной целлюлозы, имеет низкую белизну. Объясняется это следующими причинами: гидролизу подвергалась небеленая целлюлоза с невысокой степенью белизны (63,5-64,5 %); в результате гидролиза целлюлозы азотной кислотой порошковая целлюлоза приобретает желтоватый оттенок, который придает нитролигнин, образующийся при взаимодействии остаточного лигнина в целлюлозе и азотной кислоты. Белизна порошка, полученного из пероксидно-щелочной целлюлозы, достаточно высокая.

Все образцы порошковой целлюлозы характеризуются высокой долей крупной фракции (отходов).

Для улучшения качественных показателей конечного продукта (повышения белизны) было предложено провести отбелку порошковой целлюлозы отбеливающим раствором пероксида водорода. Данный реагент является экологически безопасным. Условия отбелки

приняты традиционные, как и для отбелки волокнистой целлюлозы. Отбелке подвергали образцы порошковой целлюлозы с наибольшей белизной (обр. С-3, Н-5, П-3).

Результаты отбелки порошковой целлюлозы приведены в таблице 6. В образцах порошковой целлюлозы были определены следующие показатели: выход, белизна, степень полимеризации, а также некоторые показатели, регламентируемые для порошковой целлюлозы, предназначенной для пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности.

Таблица 6

Сравнительная характеристика белевой порошковой целлюлозы

Показатели порошковой целлюлозы	Беленая порошковая целлюлоза, полученная из		
	сульфитной целлюлозы – образца С-3	натронной целлюлозы (после делигнификации по схеме Пк-Щ-К) – образца Н-5	пероксидно-щелочной целлюлозы – образца П-3
Выход порошковой целлюлозы, % от небеленой волокнистой целлюлозы	78,3	83,6	77,5
Белизна, %	73,7	76,0	83,2
Степень полимеризации	275	240	195
Сорбционная способность по йоду, мг I <sub>2</sub> /г цел	29,7	45,5	31,6
Водоудержание, %	68,2	74,0	72,0
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	170	182	187
Фракционный состав, %:			
отсортированная фракция	87,2	89,4	92,4
отходы	12,8	10,6	7,6

Результаты исследований, приведенные в таблице 5, показывают, что наилучшие результаты отбелки порошковой целлюлозы пероксидом водорода получены у образца из пероксидно-щелочной целлюлозы. Отбелка порошковой целлюлозы приводит к незначительному снижению выхода и увеличению содержания отсортированной (мелкой) фракции. В результате отбелки удалось значительно повысить белизну порошковой целлюлозы. По показателям насыпной плотности и водоудерживающей способности образцы порошковой целлюлозы практически не различаются. Наибольшее значение сорбционной способности получено у образца из натронной целлюлозы, наименьшее – из сульфитной.

Таким образом, показана возможность получения порошковой целлюлозы из хвойных древесных опилок по схеме, которая состоит из следующих стадий: делигнификация (варка) древесных опилок; гидролиз полученной целлюлозы водным раствором азотной кислоты с получением порошка; отбелка порошковой целлюлозы пероксидом водорода. Выбор способа делигнификации древесных опилок будет зависеть от технико-экономических и экологических показателей.

### Список литературы

1. Мохирев А.П., Безруких Ю.А. Медведев С.О., Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса, как фактор устойчивого природопользования // Инженерный вестник Дона. 2015, №2, ч. 2. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3011>.
2. Комплексное устойчивое управление отходами. Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность: учебное пособие / Н.И. Альберг, и др.; под ред. Н.И. Альберг – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. – 308 с.

3. Просвирников Д.Б., Ахметшин И.Р., Гайнуллина Д.Ш., Просвирникова Т.Д. Использование отходов деревообработки в производстве порошковой целлюлозы // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: сборник трудов IV Междунар.науч. экол. конференции. Краснодар. 24-25 марта 2015 г. – С. 292-294.

4. Кузнецова С.А., Дрозд Н.Н., Васильева Н.Ю., Левданский А.В., Яценкова О.В., Скворцова Г.П., Мифтахова Н.Т., Макаров В.А. Разработка метода получения сульфатированной микрокристаллической целлюлозы из опилок древесины осины и пихты и изучение их антикоагулянтной активности//Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы IV Всероссийской конференции. Барнаул. 21–23 апреля 2009 г. – С.44-46.

5. Полюттов А.А., Пен Р.З., Бывшев А.В. Технология целлюлозы. Экологически чистое производство. Монография. Красноярск: ООО Красноярский писатель, 2012. 294 с.

6. Хакимова Ф.Х., Синяев К.А., Ковтун Т.Н. Отбелка сульфатной хвойной целлюлозы по ECF-технологии пероксидом водорода и хлоритом натрия// Лесн.журн.-2012. - № 4. - С.112-120. (Изв.высш.учеб.заведений).

---

УДК 676.18

**ПОЛУЧЕНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ МАССЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ  
ОСИНОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ  
АО «СОЛИКАМСКБУМПРОМ»**

**Пантелеева Виктория Алексеевна,  
начальник лаборатории АО «Соликамскбумпром»,  
г. Соликамск, E-mail: [panvik35@inbox.ru](mailto:panvik35@inbox.ru)**

**Ключевые слова:** осина, модернизация, физико-механические показатели, термомеханическая масса, газетная бумага.

**Аннотация.** В статье приведены результаты испытаний, позволяющие установить целесообразность использования древесины осины в качестве сырья для получения термомеханической массы в производстве газетной бумаги на АО «Соликамскбумпром». Показано, что при замене до 10% древесины ели на осину, полученная термомеханическая масса характеризуется достаточно высокими показателями механической прочности и может быть использована в производстве газетной бумаги.

**OBTAINING THERMO-MECHANICAL PULP WHEN USING  
ASPEN WOOD AND ITS IMPACT ON PRODUCT QUALITY  
JSC "SOLIKAMSKBUMPROM"**

**Panteleeva Victoria Alekseevna,  
head of laboratory of JSC "Solikamskbumprom»,  
Solikamsk, E-mail: [panvik35@inbox.ru](mailto:panvik35@inbox.ru)**

**Key words:** aspen, modernization, physical-mechanical characteristics, thermo mechanical pulp, newsprint paper.

**Abstract.** The article presents the results of tests to determine the feasibility of using aspen wood as a raw material for thermomechanical mass in the production of newsprint at JSC "Solikamskbumprom". It is shown that when replacing up to 10% of spruce wood with aspen, the resulting thermomechanical mass is characterized by sufficiently high mechanical strength and can be used in the production of newsprint.

В настоящее время сырьем для изготовления древесной массы на АО «Соликамскбумпром» является балансовая древесина ели. В условиях возрастающего дефицита хвойных пород древесины более актуальным становится использование в этих целях лиственной породы древесины, в первую очередь осины, которая широко распространена на территории Пермского края.

Лиственная древесина, по сравнению с хвойной, имеет более сложную и менее упорядоченную структуру, это предопределяет снижение механической прочности получаемой продукции, но компенсируется ее меньшей стоимостью.

Механическая масса из древесины лиственных пород имеет следующие существенные отличия от механической массы из древесины хвойных пород:

- в 2,5...3,0 раза меньшую длину волокна;
- на 4...6 % меньшее содержание лигнина;
- более низкие показатели механической прочности;
- худшую способность к обезвоживанию;
- пониженную прочность во влажном состоянии;
- более низкую прочность поверхности бумаги [1].

На АО «Соликамскбумпром» после проведения модернизации оборудования технологических линий по производству термомеханической массы появилась возможность использования в качестве менее дорогого сырья для производства ТММ древесину березы, сосны и осины.

В основу модернизации линии положена новая энергосберегающая технология АТМР, которая сочетает в себе:

- предварительную обработку щепы по методу RTFibration;
- высокоинтенсивный первичный размол;
- целенаправленную обработку химикатами волокон при первичном размоле.

Предварительная обработка щепы предусматривает:

Первая ступень – прогрев щепы в RT-конвейере при низком давлении. При этом происходит размягчение клеточных стенок древесины, за счет чего сохраняется длина волокна при дальнейшей обработке щепы.

Вторая ступень – расщепление щепы вдоль волокон при высоком давлении в специальном шнеке Импрессафинере. На этой ступени происходит:

- разрушение значительной части межклеточных пластинок;
- удаление части водорастворимых веществ, экстрактов и прочих содержащихся в древесине;
- увеличение белизны термомеханической массы;
- сокращение потребления электроэнергии при последующем размоле.

В данной работе представлены результаты промышленных испытаний на АО «Соликамскбумпром» по замене древесины хвойных пород на древесину осины в количестве до 10 % от общего объема щепы, поступающей в производство ТММ.

Для промышленных испытаний на предприятие поступила осиновая щепа от поставщика – ООО «Закамский ДОК» г. Пермь. Показатели качества привозной щепы соответствовали техническим требованиям к сырью для производства термомеханической массы на АО «Соликамскбумпром» [2]. Показатели по щепе приведены в табл. 1.

Осиновую щепу для производства ТММ предварительно складировали на отдельной площадке. При проведении промышленных испытаний щепу равномерно подавали в течение 3 суток в производство ТММ.

Технологическая схема производства ТММ включает следующие основные операции:

- промывка щепы;
- предварительная обработка щепы по принципу RT;
- размол на рафинерах высокой концентрации (две ступени);
- 1 ступень снятия латентности;

Таблица 1

Качественные показатели щепы от ООО «Закамский ДОК»

Наименование показателя		ООО «Закамский ДОК»	СТП 00279580 – 046 АО «Соликамскбум- пром»
Массовая доля остатков на ситах, %	Крупная	1,0	н/в 2,0
	Средняя	94,0	н/н 91,0
	Мелкая	4,5	н/в 5,0
	Опил	0,5	н/в 2,0
Отруб, %		21,0	н/в 27,0
Гниль, %		отсутствует	н/в 1,0

- размол на рафинере низкой концентрации;
- 2 степень снятия латентности;
- сортирование (две ступени);
- 3 степень размола на рафинере высокой концентрации (размол отходов);
- степень снятия латентности размолотых отходов;
- размол отходов на рафинере низкой концентрации;
- сортирование отходов;
- сгущение ТММ;
- отбелка.

На рис. 1 показана принципиальная схема линии производства термомеханической массы на АО «Соликамскбумпром» [3].

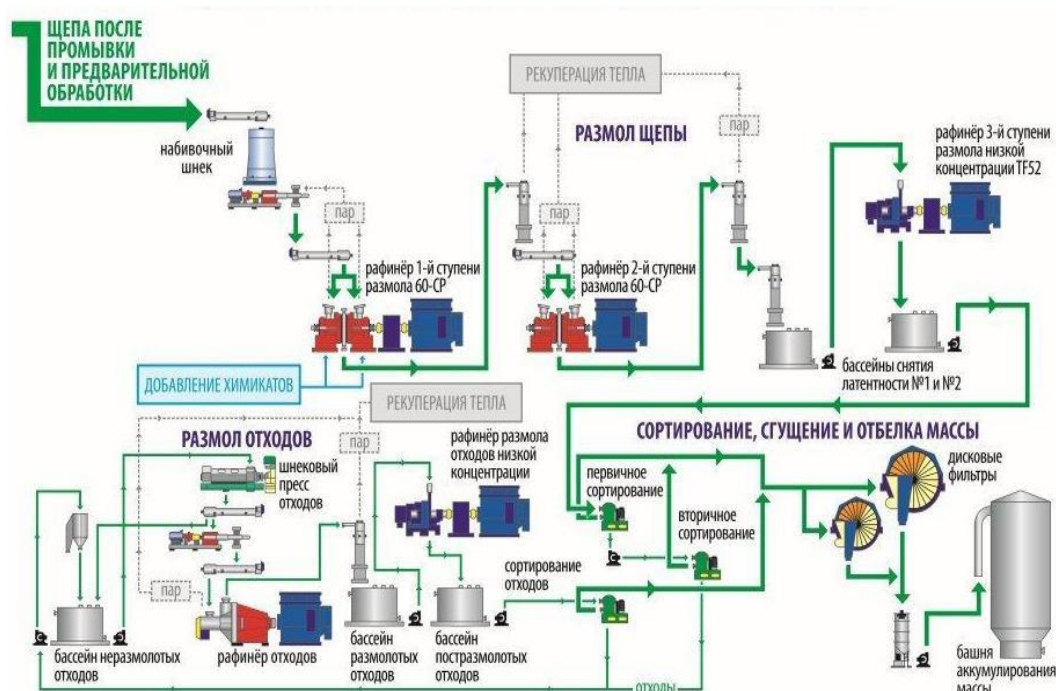


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема линии ТММ

Во время проведения промышленных испытаний технологический режим производства линии ТММ не менялся. Производительность линии ТММ – 450 т/сутки.

Для оценки результативности испытаний анализировались два периода – с подачей и без подачи осинового щепы в производство ТММ. Основными качественными показателями ТММ являются: степень помола, разрывная длина, сопротивление раздиранию, белизна.

Контроль качества термомеханической массы осуществляется на всех стадиях технологического процесса, по стандартным методикам.

В табл.2 приведены основные характеристики ТММ после размола при подаче и без подачи осинового щепы.

Таблица 2

Основные характеристики ТММ при размоле на рафинерах

Наименование показателей	1 ступень		2 ступень		Рафинер отходов	
	без подачи осины	при подаче осины	без подачи осины	при подаче осины	без подачи осины	при подаче осины
Степень помола, °ШР	16	17	37	38	59	61
Разрывная длина, м	2100	2050	3600	3400	5400	5100
УРЭ на размол, кВт*ч/т	877	860	697	680	786	745

Из табл. 2 видно, что с подачей осины, после 1 и 2 ступени размола степень помола увеличилась на 1 °ШР, на рафинере отходов – на 2 °ШР; разрывная длина стала ниже: на 1 ступени – на 50 м; на 2 ступени – на 200 м; на рафинере отходов – на 300 м.

Учитывая, что древесина осина имеет невысокие показатели по плотности и твердости, снижается удельный расход энергии, затраченный на размол: на 1 ступени – на 1,9 %, на 2 ступени – на 2,4 %, на рафинере отходов – на 5,2 %.

Далее в табл.3 представлены качественные показатели термомеханической массы с дискового фильтра линии ТММ.

Таблица 3

Качественные показатели ТММ с дискового фильтра

Наименование показателя	Норма	Состав сырья	
		без подачи осины	при подаче осины
Степень помола, °ШР	67...72	69	69
Разрывная длина, м	н/н 4500	4600	4500
Раздирание, гс	н/н 48	57	58
Белизна, %		58,8	58,9

Из данных табл. 3 следует, что замена 10 % древесины ели на древесину осины незначительно повлияла на прочностные и оптические свойства массы. А именно: помол и белизна остались на прежнем уровне; разрывная длина снизилась на 100 метров; раздирание повысилось на 1 гс.

Для более полной характеристики ТММ на приборе FS-200 фирмы «Kajaani» была определена длина волокна. Метод основан на автоматическом измерении количества и размеров волокон при прохождении разбавленной волокнистой суспензии через лазерный луч.



По результатам анализа видно, что длина волокна массы с осинной корочке, чем длина волокна массы из одной ели. Увеличение мелковолокнистой фракции, ещё раз доказывает, что идет снижение прочностных свойств массы, что подтверждает таблица 3 с качественными показателями ТММ по разрывной длине.

В табл. 4 приведены данные по длине волокна термомеханической массы сравниваемых периодов до подачи и после подачи осиновой щепы.

Таблица 4

Длина волокна термомеханической массы

Показатели	без подачи осины	при подаче осины
Средне арифметическое, мм	0,80	0,70
Длина по длине, мм	1,85	1,70
Длина по массе, мм	2,59	2,37
Грубость, мг/м	0,263	0,292
% мелочи менее 0.2 мм	34,0	34,9
% крупного более 1.2 мм	25,3	20,5

Показатели по длине волокна снизились:

- среднеарифметическое значение – на 0,10 мм;
- длина по длине – на 0,15 мм;
- длина по массе – на 0,22 мм;
- процент крупного волокна – на 4,8 %.

Показатели по длине волокна увеличились:

- грубость – на 29 мг/м;
- процент мелочи увеличился на 0,8 %.

Короткие волокна осины заполняют промежутки между более длинными волокнами хвойной древесины, благодаря чему повышается однородность бумаги. Она приобретает более ровный просвет, удержание наполнителей в бумаге повышается, гладкость ее поверхности увеличивается, бумага становится менее прозрачной.

В табл. 5 представлены качественные показатели газетной бумаги БДМ № 1, 2, выработанной с использованием древесины ели и осины. Композиция бумаги состоит: целлюлоза – 10 %; ТММ – 50 %; ДДМ – 40 %.

Таблица 5

Качественные показатели газетной бумаги на БДМ №1,2

Показатели	Норма	БДМ № 1		БДМ №2	
		Без подачи осины	При подаче осины	Без подачи осины	При подаче осины
Масса, г/м <sup>2</sup>		42,4	42,6	43,0	43,1
Разрывная длина, м	н/н 4600	5000	4950	4900	4900
Раздираение, гс	н/н 23	23	23	24	24
Непрозрачность, %	н/н 93	93,2	93,3	93,3	93,5
Гладкость, с ли- цо/сетка	н/н 50	55/69	55/58	56/62	57/63
Толщина, мкм		71	70	71	71
Плотность, г/см <sup>3</sup>	н/н 0,59	0,59	0,59	0,59	0,59

По данным из табл.5 можно сделать выводы, что на основные механические показатели газетной бумаги при композиции ТММ – 50 %, подача осины существенно не повлияла.

Проведенные промышленные испытания на АО «Соликамскбумпром» показали, что замена 10 % древесины ели на древесину осины в производстве термомеханической массы возможна. ТММ с использованием осины не более 10 % имеет высокие физико-механические показатели и позволяет сократить удельный расход энергии на размол.

## Список литературы

1. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. 1. Сырьё и производство полуфабрикатов. Ч. 3: Производство полуфабрикатов / С.С. Пузырёв [и др.]. СПб.: Политехника, 2004. - 316 с.
2. Технологический регламент № 1. Лесосырьевое производство // АО «Соликамскбумпром». - Соликамск, 2016.
3. Технологический регламент ТММ – 1. - № 5//АО «Соликамскбумпром». - Соликамск, 2018.

---

УДК 676.16.022.6.034

## РЕСУРСЫ, РАСПРОСТРАНЕНИЕ, СВОЙСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАМБУКА ВО ВЬЕТНАМЕ

**Хоанг Минь Кхоа,**  
аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: [hoangminhkhoa.vfu@gmail.com](mailto:hoangminhkhoa.vfu@gmail.com)

**Масленникова Анастасия Алексеевна,**  
студент, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: [solncia@mail.ru](mailto:solncia@mail.ru)

**Казаков Яков Владимирович,**  
д-р техн. наук, доцент,  
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: [j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru)

**Ключевые слова:** бамбук, химический состав, распределение, использование, бамбук в бумажных производствах, переработка бамбука.

**Аннотация.** В статье представлены сведения о распространении, химическом составе и использовании древесины бамбука во Вьетнаме. Приведены примеры использования бамбука как строительного, декоративного материала и материала для производства мебели. Показана перспективность использования бамбука для химической переработки для получения целлюлозы и бумаги.

## RESOURCES, DISTRIBUTION, PROPERTIES AND THE USE OF BAMBOO IN VIETNAM

**Hoang Minh Khoa,**  
post-graduate student, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,  
Arkhangelsk, E-mail: [hoangminhkhoa.vfu@gmail.com](mailto:hoangminhkhoa.vfu@gmail.com)

**Maslennikova Anastasia Alekseevna,**  
student, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,  
Arkhangelsk, E-mail: [solncia@mail.ru](mailto:solncia@mail.ru)

**Kazakov Yakov Vladimirovich,**  
**holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Associate Professor,**  
**Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, E-mail: [j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru)**

**Key words:** bamboo, chemical composition, distribution, utilization, bamboo for paper industry, bamboo processing.

**Abstract.** The article presents information on the distribution, chemical composition and use of bamboo wood in Vietnam. Examples of the use of bamboo as a building, decorative material and material for furniture production are given. The prospects of using bamboo for chemical processing to produce pulp and paper are shown.

Вьетнам – тропическая страна с горами, холмами, высокогорьями большими и дельтами. Примерно три четверти общей площади суши, здесь занимают горы и горные районы. Согласно данным, полученным по итогам Глобальной оценки лесных ресурсов ФАО - 2005 Вьетнам относится к странам с крупнейшим ресурсом бамбука в мире [1].

Общее количество родов и видов бамбука, зарегистрированных во Вьетнаме в 2000 году, составляло 23 рода и 121 вид [2]. Но по результатам последних исследований, проведенных вьетнамскими ботаниками (профессор Нгуен Хоанг Нгиа с сотрудниками добавили некоторые новые виды в список видов бамбука во Вьетнаме), общее количество видов бамбука во Вьетнаме составляет 33 рода и 216 видов [3].

Основные виды: *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Indosasa*, *Lingnania*, *Neohouzeana*, *Oxytenanthera*, *Phyllostachys* и *Schizostachyum*.

Во Вьетнаме имеется около 1600000 га естественного леса с примерно 8,4 миллиардами бамбуковых деревьев и около 150000 га бамбуковых плантаций [4]. В том числе 869141 га чистой бамбуковой территории и 702571 га смешанных бамбуковых и смешанных лесов по всей стране [5]. Это значительные материальные источники для промышленного производства. В процессе роста одревеснение стенок трубообразного ствола развивается постепенно: древесина трехмесячного бамбука содержит 3 % лигнина, а 18-месячного - 15 %. Древесина многолетнего бамбука содержит 45...57 % целлюлозы Кюршнера, 25...28 % лигнина, 22...25 % пентозанов. Содержание веществ, экстрагируемых 1%-ным NaOH, достигает 15...20%, экстрагируемых горячей водой 3...4 %, спиртобензольной смесью 2...3 %. Зольность древесины бамбука заметно меньше, чем у соломы (2...3 %) [6]. Химический состав некоторых видов бамбука представлен в табл.1.

Таблица 1

Химический состав некоторых видов бамбука

Вид	Холо- целлюлоза, (%)	α-целлю- лоза, (%)	Лигнин, (%)	Экстрак- тивные, (%)	Зола, (%)
<i>Bambusa blumeana</i>	65,7...72,6	40,3...45,1	20,5...22,7	-	-
<i>Schizostachyum zollingeri</i>	68,8...74,3	48,7...52,6	22,1...22,9	-	-
<i>P. pubescens</i>	68,6 - 73,8	46,1...47,9	21,3...24,0	-	1,3...2,0
<i>Bambusa vulgaris</i>	67,8...69,6	37,9...43,2	22,7...23,9	-	1,8...2,1
<i>Phyllostachypu bescens</i>	71,4	47,0	22,8	-	1,5
<i>Gigantochloa levis</i>	85,1	33,8	26,5	-	1,3
<i>G. scortechinii</i>	66,8...68,1	40,5...41,4	24,9...27,9	-	1,1...1,4
<i>Gigantochloa scortechinni</i>	74,6	46,9	32,6	8,0 ± 0,2	2,8
<i>Gigantochloa wrayi</i>	84,5	37,7	30,0	8,6 ± 0,9	0,9
<i>G. levis</i>	63,5...67,2	36,2...42,5	23,3...26,6	9,2 ± 0,4	1,4...1,9
<i>Gigantochloa brang</i>	79,9	51,6	24,8	8,3 ± 0,3	1,3

Распределение бамбука на территории Вьетнамских экозон представлено в табл.2 и проиллюстрировано на рис.1.

Таблица 2

Распределение бамбука на территории Вьетнамских экозон

No	Территория	Чистый бамбук (га)	Смешанное дерево и бамбук (га)	%
1	Северо-Восточный Вьетнам	176449	132445	19,65
2	Северо-Западный Вьетнам	57218	49989	6,82
3	Дельта реки Хонг	80000	0	5,09
4	Северный центр Вьетнама	172999	99110	17,31
5	Береговая дельта Вьетнама	27519	2517	1,91
6	Центральное Нагорье Вьетнама	210343	138633	22,21
7	Юго-Восточный Вьетнам	144613	279877	27,01
Итог		869141	702571	100

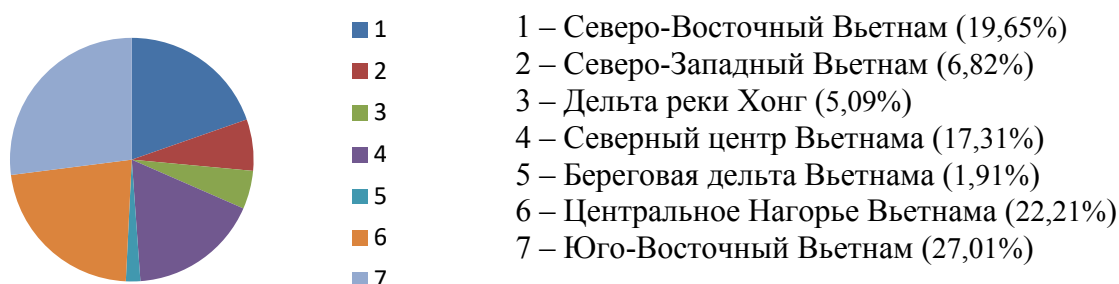


Рис.1. Распределение бамбука и территории Вьетнама

По данным на 2010 год, площадь сырьевого леса для бумажной промышленности, составила 1800000 га, из которых существующая площадь лесов составляет 800000 га (естественный лес 614906 га). Помимо быстрорастущих видов древесины, бамбуковые виды также играют ключевую роль в развитии бумажной промышленности. Во Вьетнаме около 88 заводов, использующих бамбук в качестве сырья, из них шесть заводов производят целлюлозу и бумагу, используя примерно 150000...18000 тонн бамбука в год. Распространение видов бамбука используемых в бумажной промышленности, представлено в табл.3.

Таблица 3

Центральные территории для бумажных материалов (единица: га)

Виды	Бумажная ассоциация	Хазанг, Туенканг	Футхо	Лаокай, Уенбай	Итог	%
<i>Neohouzeaua</i>	15000		35678	22279	86824	44
<i>Arundianariasp</i>	9268	6885	171	3979	20302	10
<i>Dendrocalamus Membranaceus</i>	50	1108	11	710	1195	1
Смешанные виды	9150	54490	11450	11753	86849	45
Итого	33468	62483	47310	38721	195170	100

Бамбук обладает рядом преимуществ, подходящих для его использования с получением экономического эффекта. В первую очередь, это быстрый рост и короткий цикл с высоким урожаем. Бамбук может собираться в возрасте около 3...5 лет. Однако бамбук также имеет недостатки для обработки: небольшой диаметр, пустой ствол, низкая биостойкость для грибка и паразитов.



В течение долгого времени во Вьетнаме бамбук и ротанг были использованы для производства многих видов продукции, таких как бамбуковые циновки, бамбуковая кровля, бамбуковые полы, бамбуковые плиты, бамбуковая арматура, доска для изготовления материалов, бамбуковые и ротанговые изделия ручной работы. На рис. 2 представлены примеры использования бамбука. С 1980 года бамбуковые циновки и бамбуковые кровельные плиты производятся в промышленных масштабах. При этом бамбук использовался как многоцелевой ресурс, из него делали потолок, стены, крышу временного дома, бумажную, картонную упаковку.



Ремесло



Бамбуковая мебель



Строительство



Бамбуковая циновка



Бумага



Побеги бамбука



Бамбуковые кровельные плиты



Бамбуковые полы

Рис. 2. Примеры использования бамбука

Однако сейчас бамбуковую кровлю вытеснили пластиковые, цементные и металлические кровельные плиты. Поэтому теперь, бамбуковые циновки и кровельные плиты очень мало используются во Вьетнаме.

В настоящее время производства продуктов из бамбука, таких как бамбуковый паркет и мебель, хорошо развиваются, так же, как и специальные бамбуковые ремесла. Бамбук и ротанг для экспорта Вьетнама многочисленны и разнообразны, варьируются от индивидуальных вещей до мебельных домов, гостиниц и офисов, а также традиционных сувениров. Недавно мы начали экспортировать новые товары, такие как бамбуковый паркет, перегородка, стеновая панель или рама велосипеда, сделанные из бамбука и ротанга.

Оборот ремесленников постепенно увеличивался на протяжении многих лет с довольно высокой и стабильной скоростью: удваивается через 5 лет, что соответствует темпу роста 20 % в год, это выше, чем общий национальный рост экспорта, который составил 15 % в год.

Таким образом, бамбуковые виды являются вторым по значению лесной продукцией после древесины во Вьетнаме. Эта недревесная группа широко используется в повседневной жизни в ремеслах и промышленном производстве, особенно в производстве бумаги, бамбуковых досках и производстве продуктов питания (побег бамбука).

В настоящее время во Вьетнаме бамбук играет важную роль в экономическом развитии горных провинций и традиционных ремесленных селах, таких как Хоабинь, Тханьхоа, Хатай провинции. Он важен в стабилизации урегулирования этнических меньшинств и ликвидации голода, сокращении масштабов нищеты для местных общин.

## Список литературы

1. Non-wood forest products 18 World bamboo resources / M. Lobovikov, S. Paudel, M. Piazza et al. // [Food and Agriculture Organisation](#). – 2005. – P. 1–7.
2. *Pham H. H.* An illustrated flora of Vietnam / H. H. Pham // Agricultural Publishing House, Hanoi. –1999 –2000. – Vol. 1–6.
3. *Nguyen H. N.* Genetic Conservation of Forest Plant Species / H. N. Nguyen // Agricultural Publishing House, Hanoi. – 1997. – P. 58–65.
4. *Tang T. K. H.* Preservation and drying of commercial bamboo species of Vietnam / T. K. H. Tang // Hamburg University. – 2013. – P. 1–3.
5. Vietnam report in “2005 China TCDC International Training Course on Bamboo Technology” // Ministry of Commerce Website.
6. *Непенин Н.Н.* Технология целлюлозы. в 3-х т. Том III. Очистка, сушка и отбелка целлюлозы. Прочие способы получения целлюлозы / Н.Н. Непенин, Ю.Н. Непенин// М.: Экология, 1994. – С. 519.
7. *Liese W.* Bamboo The Plant and its Uses / W. Liese, K. Michael // Spring Link. – 2015. – Chapter 10. – P. 299–345.
8. Chemical Composition of Four Cultivated Tropical Bamboo in Genus *Gigantochloa* / W. Razak, T. M. Mohd, A. S. et al. // Journal of Agricultural Science. – 2013. – Vol. 5. – No. 8.
9. *Nayak L.* Prospect of bamboo as a renewable textile fiber, historical overview, labeling, controversies and regulation / L. Nayak, P. Siba // Fashion and Textiles. – 2016. – P. 5–8.

## ПШЕНИЧНЫЙ КРАХМАЛ КАК АЛЬТЕРНАТИВА КУКУРУЗНОМУ

Чашухина Алена Станиславовна,  
инженер, Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания»,  
г. Пермь, E-mail: [Alena.Chashchukhina@pcbkr.ru](mailto:Alena.Chashchukhina@pcbkr.ru)

Идиатуллин Анвар Мугинович,  
кандидат технических наук,  
директор, ООО «Технобум-2», Московская область, п. Правдинский,  
E-mail: [amidiatullin@gmail.com](mailto:amidiatullin@gmail.com)

Житнюк Виталий Анатольевич,  
кандидат технических наук, главный технолог,  
Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания»,  
г. Пермь, E-mail: [Vitaly.Zhitnyuk@pcbkr.ru](mailto:Vitaly.Zhitnyuk@pcbkr.ru)

Авагимян Андрей Нельсонович,  
зам. главного технолога, Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная  
компания», г. Пермь, E-mail: [Andrey.Avagimyan@pcbkr.ru](mailto:Andrey.Avagimyan@pcbkr.ru)

Смышляева Елена Геннадьевна,  
начальник отдела, Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания»,  
г. Пермь, E-mail: [Elena.Butorova@pcbkr.ru](mailto:Elena.Butorova@pcbkr.ru)

**Ключевые слова:** пшеничный крахмал, крахмальный клей, клейстеризация, вязкость.

**Аннотация.** В данной работе рассматривается возможность замещения кукурузного крахмала пшеничным, сравнивается их структура и свойства.

## WHEAT STARCH AS AN ALTERNATIVE TO CORN

Chashchukhina Alena Stanislavovna,  
engineer, Perm Pulp and Paper Company,  
Perm, E-mail: [Alena.Chashchukhina@pcbkr.ru](mailto:Alena.Chashchukhina@pcbkr.ru)

Idiatullin Anwar Muginovich,  
Ph.D. of Engineering Sciences, Director, LLC «Technobum-2»,  
Moscow region, Pravdinskiy, E-mail: [amidiatullin@gmail.com](mailto:amidiatullin@gmail.com)

Gitnik Vitaly Anatolievich,  
Ph.D. of Engineering Sciences, chief technologist,  
Perm Pulp and Paper Company, Perm, E-mail: [Vitaly.Zhitnyuk@pcbkr.ru](mailto:Vitaly.Zhitnyuk@pcbkr.ru)

Avagimyan Andrey Nelson's,  
deputy chief technologist, Perm Pulp and Paper Company,  
Perm, E-mail: [Andrey.Avagimyan@pcbkr.ru](mailto:Andrey.Avagimyan@pcbkr.ru)

Smyshlyaeva Elena Gennadievna ,  
head of department, Perm Pulp and Paper Company,  
Perm, E-mail: [Elena.Butorova@pcbkr.ru](mailto:Elena.Butorova@pcbkr.ru)

**Key words:** wheat starch, starch glue, gelatinization, viscosity.

**Abstract.** In this paper we consider the possibility of replacing corn starch with wheat, compare their structure and properties.



Крахмал – природный полимер глюкозы, выделенный из растений. Крахмал является карбогидратом (формула  $C_6H_{10}O_5)_n$ , который под воздействием кислотного гидролиза переходит в D-глюкозу. Крахмал состоит из плотно упакованных мелких гранул, в состав которых дополнительно входят фосфорные, кремниевые кислоты, азотистые соединения. Основной состав крахмала – два типа полимеров-углеводов: амилозы, с преимущественно линейными цепочками и амилопектина, с преимущественно ветвящимися цепочками. Соотношение этих полимеров варьируется в зависимости от исходного типа растений. При этом содержание линейной амилозной фракции может варьироваться от 0...5 % для восковидной кукурузы до 70% и выше у высокоамилозной кукурузы. Наиболее распространенные отечественные виды крахмала кукурузный и пшеничный имеют содержание амилозной фракции  $\approx 20...25$  %. Гранулы крахмала нерастворимы в холодной воде. Для их превращения в клеящую массу их необходимо нагреть в присутствии воды до набухания и разрыва оболочки крахмального зерна, сопровождающегося частичным растворением и раскрытием полимерных цепочек [1].

Крахмал является одним из самых распространенных в мире вспомогательных веществ в бумажной промышленности. Применение крахмала в бумажной промышленности достаточно разнообразно – добавки в бумажную массу для упрочнения, связующее для поверхностной проклейки и мелования бумаги, клеи для склеивания гофрированного картона, бумажных мешков и бумажно-навивной тары, коагулянты при очистке промышленных и бытовых сточных вод.

Традиционно для приготовления клея в бумажной промышленности чаще используют кукурузный крахмал. Однако в последнее время все более популярными становятся составы на основе пшеничного крахмала, благодаря, главным образом, коммерческим соображениям, которые превосходят некоторые недостатки данного типа крахмала. По прогнозам, использование пшеничного крахмала существенно увеличится, в частности среди больших потребителей, которые готовы вкладывать средства в оборудование и технологии, чтобы упростить переход на новую систему [2].

Сравнительные характеристики пшеничного и кукурузного крахмалов представлены на рис. 2. Для улучшения растворимости, повышения связующих свойств, придания катионного заряда и коагулирующих свойств крахмалы модифицируют, и это дает дополнительный эффект, связанный с повышением удержания ими мелкого волокна, наполнителя. Производство картона для плоских слоев предусматривает использование макулатуры в качестве основного сырья. Чтобы применять макулатурную массу в широком ассортименте целлюлозно-бумажных изделий, ее необходимо подвергать глубокому облагораживанию с высокой степенью восстановления бумагообразующих свойств, что требует больших капиталовложений.

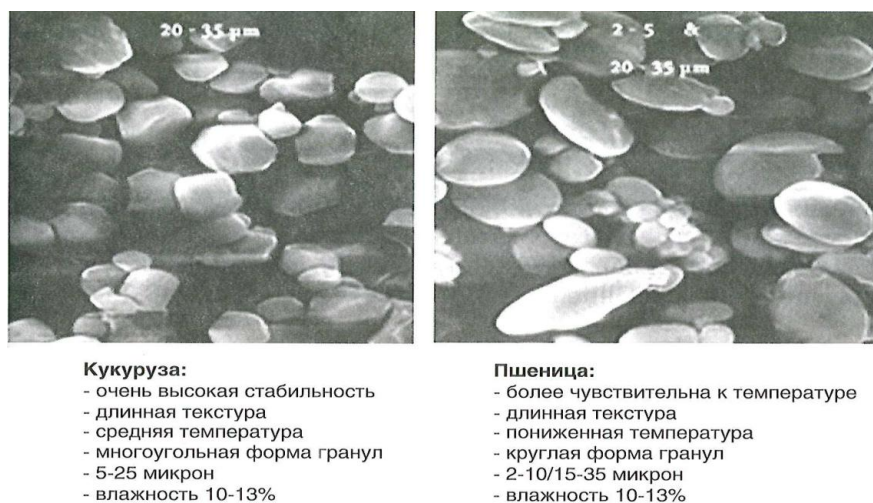


Рис. 2. Сравнительные характеристики пшеничного и кукурузного крахмалов

Материалы, получаемые из такого сырья, не имеют достаточного уровня прочности и жесткости. Многие годы для устранения этих проблем использовались натуральные крахмалы. Их основное преимущество – низкая стоимость, а главный недостаток – большой расход на тонну продукции, замедление обезвоживания, загрязнение оборотных и сточных вод растворенным и диспергированным крахмалом. Катионные модификации крахмала позволили устранить эти недостатки. Они имеют прочную адсорбцию к волокну и хорошо удерживаются в массе, благодаря чему покрывают большую поверхность волокон и дают хорошее внутреннее сцепление при низком расходе, при этом сами катионные крахмалы практически полностью адсорбируются на волокнах и не остаются в оборотной воде в растворенном виде. В дополнение, катионные крахмалы являются эффективным средством удержания мелочи, наполнителей и вредной смолы. Катионный крахмал – замещенный крахмал, содержащий группы, способные придавать ему положительный заряд в водной среде.

Применяются катионные крахмалы преимущественно для добавки в бумажную массу практически для всех видов бумаги и картона, в том числе. В отличие от нативного крахмала, катионные крахмалы не только повышают прочность бумаги и картона, но при определенных условиях способны значительно повысить удержание мелочи на сетке БДМ и естественно снизить содержание взвешенных веществ в подсеточной воде, улучшить работу отстойников для избыточной оборотной воды, а также имеют ряд других преимуществ [3].

Склеивание гофрированных и плоских слоев картона является основным процессом изготовления гофрированного картона. Качество применяемого клея и скорость склеивания во многом определяют скорость работы гофрировального агрегата. Наиболее часто используемые типы крахмала в гофроиндустрии – кукурузный и пшеничный. Свойства их клейстеров описаны ниже в табл. 1.

Таблица 1

Свойства клейстеров из кукурузного и пшеничного крахмалов

Тип крахмала	Стойкость к температуре и перемешиванию	Структура клейстера, консистенция	Клейстеризация
Кукурузный	Очень высокая	Длиннокапельная	Медленная, средняя температура клейстеризации
Пшеничный	Более чувствителен к температуре, чем кукурузный	Длиннокапельная (немного короче, чем у кукурузного)	Медленная, более низкая температура клейстеризации
Картофельный	Низкая стойкость к перемешиванию и нагреву	Очень длиннокапельная	Медленная, очень низкая температура клейстеризации.

Идеальный клей для высокоскоростного агрегата должен иметь высокий показатель стабильности в сочетании с низкой температурой клейстеризации и короткую текстуру (короткокапельную консистенцию). Это позволит добиться высокой скорости при низком уровне потребления энергии и низком уровне расхода при нанесении и при снижении разбрызгивания [2]. Основные показатели крахмалов по технической документации (НД) и данным поставщиков представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что влажность пшеничного крахмала «2» в среднем на 2 % ниже, чем у пшеничного крахмала «1» и на 3 % ниже, чем у кукурузного крахмала. Более низкая влажность крахмала соответственно дает экономию крахмала и выгодна потребителю; зольность и содержание протеина у обоих пшеничных крахмалов на одном уровне; у крахмала «2» нормируется патогенная микрофлора, а также показатель содержания плесени, дрожжей КОЕ/г – что говорит об высокой микробиологической чистоте крахмала. У других крахмалов в сопроводительных документах данный показатель не нормируется.

Таблица 2

Показатели крахмалов по НД пшеничного «1», и пшеничного «2», и кукурузного «1»

№	Наименование показателя по НД высший сорт	Норма по НД	Фактические показатели крахмалов		
			Кукурузный «1»	Пшеничный «1»	Пшеничный «2»
1	Внешний вид	Белый порошок	Соответствует	Соответствует	Соответствует
2	Массовая доля влаги, % не более	14,0	11,7-12,1	10,5-11,6	8,3-9,5
3	Массовая доля общей золы, % не более	0,2	0,08	0,18	0,17
4	Массовая доля протеина, % не более	0,8 – кукур. 0,3 – пшен.	0,35	0,18	0,12-0,23
5	Кислотность, не более, мл/100г	20	13,1	8,3	5,2
6	Микробиология, плесень, дрожжи, КОЕ/г, не более	100	Не нормируется	Не нормируется	20

\* Пшеничный «1» и Пшеничный «2» – разные производители.

В табл. 3 представлены дополнительные потребительские свойства крахмалов, которые обычно не нормируются.

Таблица 3

Дополнительные потребительские свойства крахмалов

№	Наименование показателя	Предпочтительные характеристики	Фактические показатели крахмалов		
			Кукурузный «1»	Пшеничный «1»	Пшеничный «2»
7	Насыпная плотность крахмала, кг/м <sup>3</sup>	Более высокая плотность лучше	0,61	0,63	0,65
8	Сыпучесть крахмала – угол наклона при котором происходит сыпучесть	Более низкий угол – лучше сыпучесть в бункере	-	89-93°	60-73°
9	Вязкость по Брукфильду 3,6%-ного р-ра в 1 н. NaOH, (шп. №2, 100 об/мин.), мПа·с	Более высокая вязкость – лучше	158	178	179
10	Вязкость по ВЗ-4 3,6%-ного р-ра в 1н. NaOH, с	Более высокая вязкость - лучше	27	37	36
11	Склонность к пенообразованию. Высота столбика пены 10%-ной суспензии крахмала	Более низкая пена – лучше – меньше пенообразование	12-14 мм	2,0 мм	1,0-3,0 мм
12	Температура клейстеризации, °С	56-72° – норма	70,5	57,0	58,5-59,0

По данным таблицы можно отметить, что насыпная плотность пшеничных крахмалов выше, чем у кукурузного, то есть в мешках и в бункере они занимают меньше места, чем кукурузный; угол сыпучести пшеничного крахмала «2» существенно ниже, чем у крахмала «1», что говорит о лучшей сыпучести и является положительным фактором для равномерной подачи крахмала из бункера в бак суспензии и стабильности концентрации при варке крахмала; вязкость у обоих пшеничных крахмалов одинакова и выше, чем у кукурузного, что можно считать преимуществом пшеничных крахмалов перед кукурузным. Чем выше вязкость крахмала, тем выше его молекулярная масса и, как правило, выше связующая способность; склонность к пенообразованию у пшеничных крахмалов примерно одинакова и существенно ниже, чем у кукурузного крахмала. Это связано с более низким содержанием белка в пшеничных крахмалах, чем в кукурузном. Белок способствует пенообразованию и является негативным фактором [4].

Рецептура клея на основе пшеничного крахмала принципиально отличается от кукурузного по двум компонентам – по расходу щелочи NaOH и по расходу буры. Как известно, NaOH является важнейшим компонентом клея и в типичной рецептуре клея типа “Stein Hall” выполняет в основном две функции. На первой стадии позволяет заварить первую порцию крахмала и получить вязкий носитель, а общая концентрация NaOH в готовом клее напрямую влияет на температуру клейстеризации крахмала – то есть на температуру схватывания клеевого шва.

На рис. 3 показано, как влияет концентрация щелочи NaOH на температуру клейстеризации суспензии крахмала.

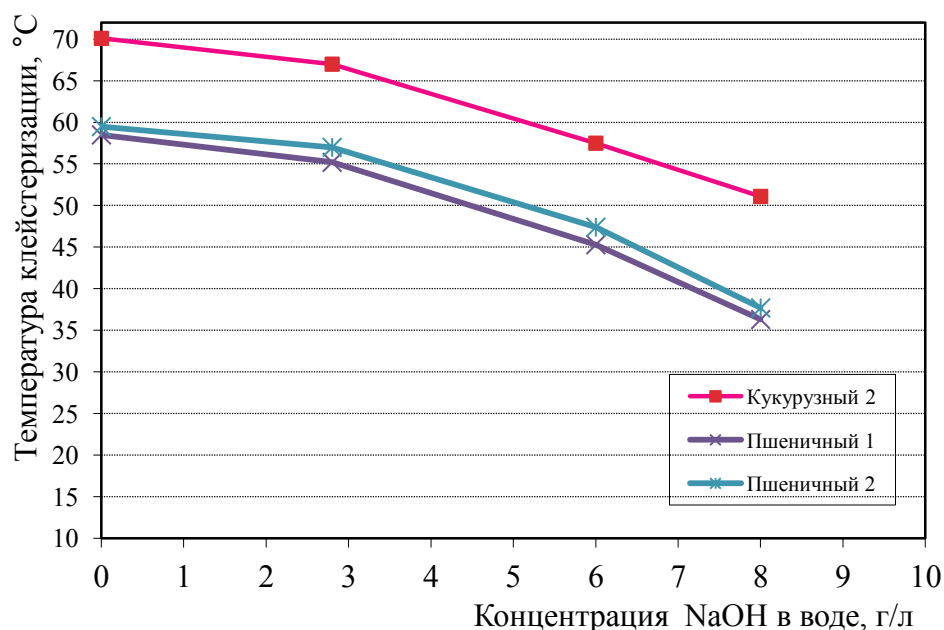


Рис.3. Влияние концентрации NaOH на температуру клейстеризации кукурузных и пшеничных крахмалов

Из рис. 3 видно, что для типичной рецептуры для кукурузного крахмала, где концентрация NaOH составляет около 5 г/л, температура клейстеризации составляет 60-62°C – и это считается оптимальной температурой для клея на кукурузном крахмале. Для пшеничного крахмала при той же концентрации NaOH в 5 г/л температура клейстеризации будет 48-50°C – это слишком низкая температура клейстеризации клея, так как создает опасность локального заваривания клея в ваннах гофроагрегата. Поэтому добавка NaOH в клей на основе пшеничного крахмала должна быть уменьшена примерно на 20% в соотношении с варкой на кукурузном крахмале.

Также добавка буры снижается на 25%. Нужно отметить, что в реальном клеевом составе температура клейстеризации крахмала будет несколько выше, чем на рис. 3, где NaOH добавляли в суспензии крахмала на дистиллированной воде.

В рецептуру клея необходимо вносить небольшие изменения с учетом следующих природных особенностей пшеничного крахмала: температура клейстеризации пшеничных крахмалов более низкая и составляет 56-60°C в отличие от кукурузных, где температура 70-72°C; вязкость у пшеничного крахмала обычно выше, чем у кукурузных крахмалов, что связано с природным происхождением.

Исходя из этих отличий в состав клея, рекомендуется внести следующие изменения: количество NaOH (по сухим веществам) в рецептуре клея пшеничного крахмала рекомендуется около 4,0 кг на 1000 кг готового клея, в отличие от кукурузного, где рекомендуется 5,0 кг NaOH на 1000 кг клея; расход буры – тетрабората натрия ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) рекомендуется снизить до 2,5 кг на 1000 кг клея, у кукурузного обычно 3,0-3,3 кг. Это связано с более высокой структурной вязкостью пшеничного крахмала.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы.

1. В гофропроизводстве пшеничный крахмал показал преимущества перед кукурузным: более низкая температура клейстеризации, более высокая насыпная плотность, более удачная текстура клея, низкое пенообразование.

2. Пшеничный крахмал можно рекомендовать для широкого промышленного использования для склейки при производстве гофрокартона.

Таким образом, в последние годы в отрасли все больше используют пшеничный крахмал. Одна из основных очевидных причин – коммерческая. На момент написания статьи пшеница, как сырьё для производства крахмала, занимала лучшее положение на рынке, чем кукуруза [2].

### Список литературы

1. Башмаков В.С. Гофрокартон: технология производства и переработки.- Ярославль: ООО «Издательско-полиграфический комплекс «Индиго», 2016-328 с.-илл.
2. Тони Пинингтон Гофроиндустрия. В поисках совершенства. Под редакцией Майкла Брантона. Brunton Technical Publications Ltd.-493 с.
3. Пинчукова К.В., Глазкова Я. В., Кужугалдинова З. Перспективы использования модифицированного крахмала для улучшения эксплуатационных свойств бумаги и картона // Молодой ученый. – 2016. – №28. – С. 163-166.
4. Вдовина О.С. Поверхностная проклейка бумаги и картона синтезированным и полимерным клеем: Дис. ... канд. тех. наук:05.21.03/ Вдовина Ольга Сергеевна ФГБОУ ВО «Сибирский государственный технологический университет» - Красноярск 2016 -182 с.

УДК 676.73

**ВЛИЯНИЕ ПРОПИТКИ КАРТОНА МАТЕРИАЛАМИ РАСТИТЕЛЬНОГО  
И ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ  
И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**Захаров Иван Васильевич,**  
аспирант, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, г. Казань, E-mail: [Zaharvv1991@mail.ru](mailto:Zaharvv1991@mail.ru)

**Канарский Альберт Владимирович,**  
д-р техн. наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, г. Казань, E-mail: [alb46@mail.ru](mailto:alb46@mail.ru)

**Захарова Наталья Леонидовна,**  
аспирант, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, г. Казань, E-mail: [nlzaharova@mail.ru](mailto:nlzaharova@mail.ru)

**Окулова Елена Олеговна,**  
аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: [e.okulova@narfu.ru](mailto:e.okulova@narfu.ru)

**Казаков Яков Владимирович,**  
д-р техн. наук, доцент,  
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: [j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru)

***Ключевые слова:** картон, физико-механические и деформационные характеристики картона.*

***Аннотация.** Показана возможность увеличения прочностных характеристик картона соевым изолятом и глютенем пшеничным. Определено оптимальное значение привеса пропитки.*

**IMPACT OF CARDBOARD PREPARATION WITH MATERIALS OF PLANT  
AND ANIMAL ORIGIN ON PHYSICAL-MECHANICAL AND DEFORMATION  
CHARACTERISTICS**

**Zakharov Ivan Vasilievich,**  
post-graduate student, Kazan National Research Technological University,  
Kazan, E-mail: [Zaharvv1991@mail.ru](mailto:Zaharvv1991@mail.ru)

**Kanarskii Albert Vladimirovich,**  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor,  
Kazan National Research Technological University, Kazan, E-mail: [alb46@mail.ru](mailto:alb46@mail.ru)

**Zakharova Natalia Leonidovna,**  
post-graduate student, Kazan National Research Technological University,  
Kazan, E-mail: [nlzaharova@mail.ru](mailto:nlzaharova@mail.ru)

**Okulova Elena Olegovna,**  
post-graduate student, Kazan National Research Technological University,  
Kazan, E-mail: [e.okulova@narfu.ru](mailto:e.okulova@narfu.ru)

**Kazakov Yakov Vladimirovich,**  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Associate Professor,  
Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, E-mail: [j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru)

**Key words:** cardboard, physical-mechanical and deformation characteristics of cardboard.

**Abstract.** The possibility of increasing the strength characteristics of cardboard with soy isolate and wheat gluten is shown. The optimum value of the impregnation is determined.

В настоящее время на волокнистые материалы наносятся традиционные пластмассы, в частности ПЭ, ПП, ПС и ПЭТФ, а также вводятся в композицию формальдегидные смолы для придания прочности в сухом и влажном состояниях. Однако, такие волокнистые материалы сложно подвергаются вторичной переработке, и не подлежат экономически эффективной утилизации [1]. В этой связи, поиск полимерных веществ, для улучшения свойств волокнистых материалов весьма актуален.

Целью настоящей работы являлось изучение физико-механических и деформационных характеристик картона, пропитанного материалами растительного и животного происхождения. В соответствии с поставленной целью, показаны результаты физико-механических и деформационных характеристик картона пропитанного растительными и животным материалами (табл.1).

Таблица 1

Физико-механические и деформационные характеристики пропитанного картона

№	Компаунд для пропит- ки	Процент привеса пропитки	σ, МПа				Δl, мм			
			MD		CD		MD		CD	
			сухой/влажный		сухой/влажный		сухой/влажный		сухой/влажный	
К	—	—	61	11,9	30	6,2	1,19	0,55	3,34	1,75
1	желатин	0,8	78	11,2	25	3,1	1,58	0,59	3,83	1,83
2		2,2	73	11,4	28	3,4	1,61	0,61	3,41	1,87
3		4,6	63	10,4	29	3,3	1,46	0,67	6,92	1,42
4	окара	0,8	73	15,9	23	3,0	1,42	0,71	3,64	1,81
5		6,2	71	9,4	22	2,7	1,79	0,80	3,37	2,40
6		6,7	64	10,8	23	3,2	1,54	3 0,82	4,55	2,44
7	соевый изолят	1,0	88	21,4	22	6,1	1,88	0,73	2,64	1,44
8		7,7	65	24,3	28	7,7	1,43	0,93	3,2	1,49
9		8,0	71	15,3	25	6,0	1,72	0,69	2,65	1,70
10	горох	1,0	79	18,1	24	5,1	1,55	0,74	3,00	1,68
11		1,8	86	14,7	26	5,5	1,67	0,66	3,33	1,60
12		9,0	71	13,8	23	4,1	1,63	0,59	2,48	1,40
13	глютен	0,8	86	21,2	23	6,2	1,56	0,74	2,91	1,67
14		1,6	78	15,1	25	4,4	1,68	0,70	3,76	1,61
15		2,3	81	15,7	24	5,0	1,88	0,63	3,93	1,60

Пропитывающие материалы наносились на картон крафт-лайнер (130 г/м<sup>2</sup>) толщиной 200 мкм, с варьированием расхода от 0,8 до 9 %, по отношению к абсолютно сухой массе



(а.с.м.) волокнистого материала. Приготовление компаундов связано с их гомогенизацией в водной среде с  $\text{pH}=6$ . Для приготовления компаундов использовались:

- желатин с содержанием белка 84 % по ГОСТ 11293-89 (производитель ЗАО «Д-р Оеткер»);
- окара дважды промытая с содержанием белка 24 %;
- изолят соевый с содержанием белка 90 % по ТУ 9146-002-41996709-2015 (производитель ООО «Первый диетический»);
- горох молотый с содержанием белка 23 % по ГОСТ (производитель ООО «Ресурс»);
- глютен пшеничный с содержанием белка 70 % по ГОСТ Р 53511–2009 (производитель ООО «Первый диетический»).

Для оценки физико-механических и деформационных свойств волокнистых материалов использовали стандартные методы. Разрушающее напряжение  $\sigma$ , МПа, удлинение при разрыве  $\Delta l$ , мм – при обработке индикаторных диаграмм нагрузка–удлинение, полученных при испытании на растяжение на разрывной машине «Тестсистема 101» (ГОСТ Р ИСО 1924-2–96), обработанные по методике Комарова-Казакова [2]. Свойства картона во влажном состоянии при кратковременном смачивании оценивали при испытании образцов по методике из ГОСТ 13525.7–68.

Все испытания проводили на образцах картона шириной 15 мм, вырезанных в продольном (MD) и поперечном (CD) направлениях. При испытаниях на растяжение рабочая длина образцов составляла 50 мм, скорость растяжения – 20 мм/мин.

Результаты показывают, что целесообразно пропитывать картон с расходом примерно 1 % привеса по а.с.м. вещества.

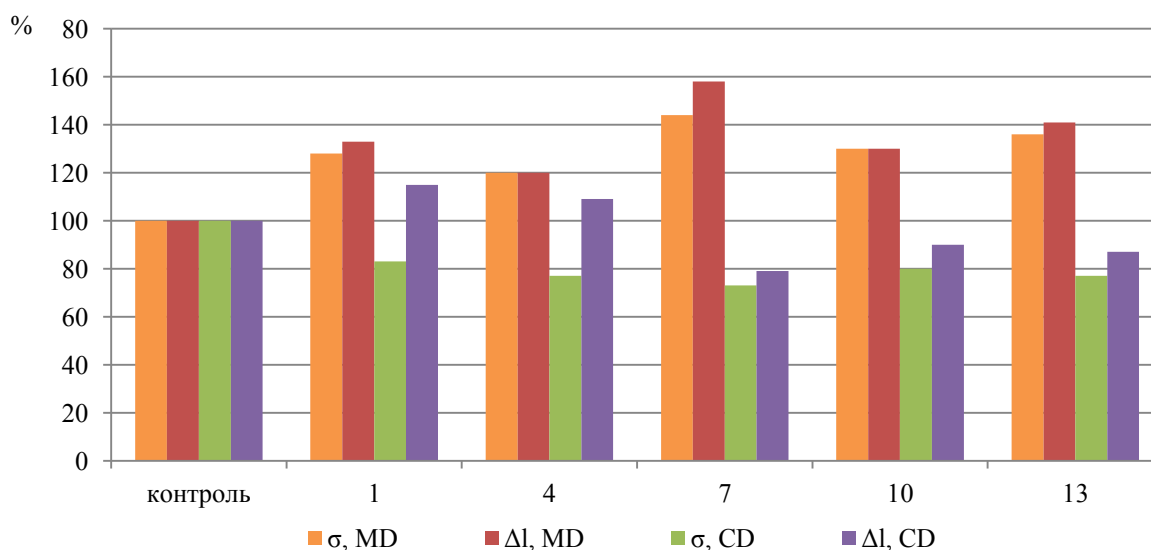


Рис.1. Относительные величины характеристик вариантов картона в сухом состоянии

Из рис. 1 видно, что разрушающее напряжение увеличивается в сухом состоянии в машинном направлении для картона, пропитанного приготовленными компаундами до 44 % – для варианта 7 и до 36 % – для варианта 13. В машинном направлении увеличивается и удлинение при разрыве до 58 % – для варианта 7 и до 41 % – для варианта 13.

Из рис. 2 видно, что разрушающее напряжение увеличивается во влажном состоянии в машинном направлении для картона, пропитанного приготовленными компаундами до 80 % – для варианта 7 и 13. Удлинение при разрыве увеличивается для всех вариантов картона в машинном направлении, пропитанных приготовленными компаундами и составляет 134 % для вариантов 7,10 и 13.

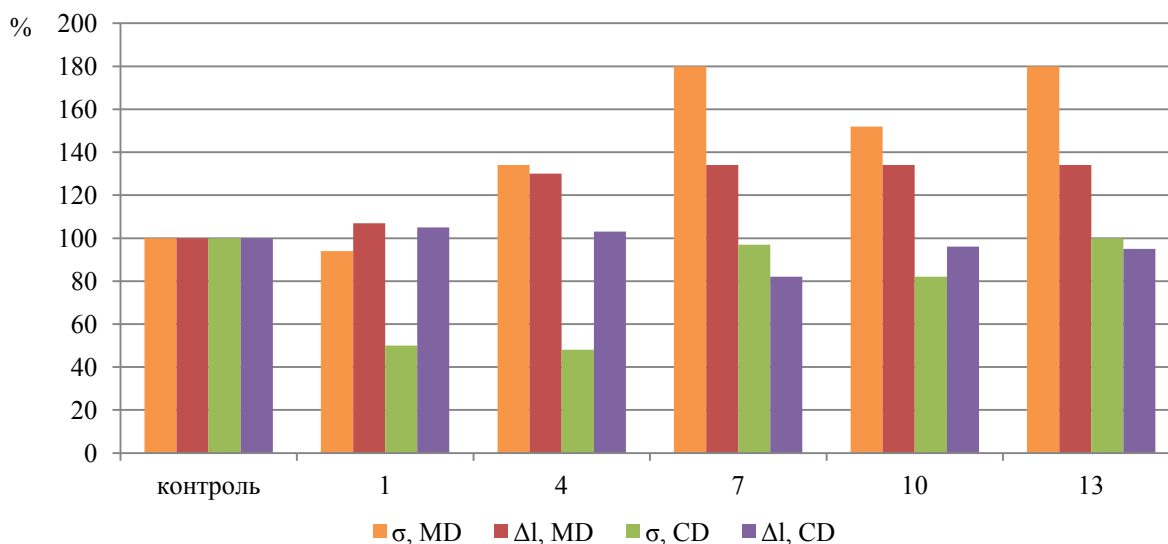


Рис. 2. Относительные величины характеристик вариантов картона во влажном состоянии

При увеличении привеса пропитки глютенном увеличивается удлинение при разрыве и для поперечного направления сухого картона. Поэтому целесообразно изучать поверхностную обработку картона глютенном пшеничным и увеличение его нативных характеристик.

#### Список литературы

1. A. R. Flory, D.V. Requesens, Shivakumar P. Devaiah Development of a green binder system for paper products/ Biotechnol/ 2013;13;28
2. Комаров В.И., Казаков Я.В. Анализ механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки // Лесной вестник МГУЛ. 2000. №3 (12). С.52–62.



УДК 676.017

### НЕОДНОРОДНОСТЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАКУЛАТУРНОГО КАРТОНА ТОП-ЛАЙНЕР

**Романова Анастасия Николаевна,**  
аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: [anastasiaromanov@gmail.com](mailto:anastasiaromanov@gmail.com)

**Казаков Яков Владимирович,**  
д-р техн. наук, доцент,  
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: [j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru)

**Малков Алексей Валерьевич,**  
канд. хим. наук, доцент,  
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: [a.malkov@narfu.ru](mailto:a.malkov@narfu.ru)

**Ключевые слова:** макулатурный картон, неоднородность бумаги, деформирование, локальные деформации, растяжение.

**Аннотация.** Представлены результаты измерения локальных растягивающих вдоль линии нагружения, сжимающих поперек линии нагружения и сдвиговых деформаций при растяжении макулатурного картона с белым покровным слоем. Использованы собственная методика и оригинальное программное обеспечение. Установлено наличие и дана визуальная и количественная оценка неоднородного поля деформаций, что обусловлено неоднородной структурой картона. Показано преобладание растягивающих деформаций, при этом наибольшую неоднородность имеют поперечные деформации.

## DEFORMATION HETEROGENEITY OF RECYCLED WHITE TOP LINER BOARD

**Romanova Anastasia Nikolaevna,**  
graduate student, Northern (Arctic) Federal University  
named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, E-mail: [anastasiaromanov@gmail.com](mailto:anastasiaromanov@gmail.com)

**Kazakov Yakov Vladimirovich,**  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences,, Associate Professor,  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,  
Arkhangelsk, E-mail: [j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru)

**Malkov Alexey Valeryevich,**  
Ph.D. of Chemical Sciences, Associate Professor,  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,  
Arkhangelsk, E-mail: [a.malkov@narfu.ru](mailto:a.malkov@narfu.ru)

**Key words:** recycled cardboard, non-uniformity of paper, deformation, local deformations, tensile test.

**Abstract.** Measurement results of local stretching, compressing and shear deformations when tensile test on recycled cardboard with a white top layer are presented. Proprietary methods and software are used. Due to the non-uniform structure of the cardboard there are the presence of the inhomogeneous strain field are detected, its visual and quantitative evaluation is given. The predominance of tensile deformations is shown up, wherein the greatest heterogeneity are demonstrated by transverse deformations.

Современные тенденции развития целлюлозно-бумажной отрасли направлены на снижение влияния техногенных факторов на окружающую среду. Особое значение придается повторной переработке отходов производства. В частности, возрастает доля вторичного волокнистого сырья в композиции бумаги и картона. Устойчивую положительную динамику обеспечивает экологический вектор в промышленной политике всех развитых стран.

В настоящее время отмечаются значительные темпы роста потребления тароупаковочных видов картона из макулатурного сырья. Выбор обуславливается достаточно высокими показателями механической прочности гофротары и ее устойчивостью к различного рода эксплуатационным нагрузкам.

Одним из характерных и ключевых свойств картона из макулатуры является неоднородность его структуры, связанная с анизотропией, волокнистой природой и существующей технологией изготовления. Благодаря склонности растительных волокон к хлопьеобразованию при формовании картонного полотна на сетке КДМ, в реальном листе картона обязательно имеет место структурная неоднородность, то есть неравномерность распределения волокнистой массы по площади листа. Визуально этот эффект оценивается по облачности просвета листа картона [1], а для количественной оценки применяют анализаторы формования [2].

При приложении к образцу из целлюлозно-бумажного материала механической нагрузки неизбежно появляется вариация в величинах местной деформации в листе картона под нагрузкой. Из-за наличия в материале флокул и промоин, связанные межволоконными свя-

зями области структуры и свободные от связей сегменты волокон имеют различную жесткость. Подобная структурная особенность вызывает эффект неоднородности, который ведет к возникновению концентраций напряжений, приводящих, в предельном случае, к разрушению образца [3]. Таким образом, учет макроструктурной неоднородности, обусловленной строением агрегированных вторичных элементов пространственной структуры картона и распределением волокон в картонном листе, и количественная оценка неоднородности напряжений и деформаций позволяют более надёжно прогнозировать поведение целлюлозно-бумажного материала при его эксплуатации [4].

Цель работы заключалась в количественной оценке распределения локальных растягивающих, сжимающих и сдвиговых деформаций, возникающих в структуре картона топ-лайнера из вторичного волокнистого сырья при приложении растягивающей нагрузки.

Для проведения эксперимента в качестве объекта исследований был выбран макулатурный картон топ-лайнер с белым верхним слоем, массой  $130 \text{ г/м}^2$  и толщиной  $210 \text{ мкм}$ . На данном этапе исследований ограничили анализом поведения материала для образцов, вырезанных в машинном (MD) направлении. Предварительно у картона неразрушающими методами были определены физико-механические характеристики. Результаты измерений для серии из 7 листов картона представлены в табл. 1. Оценка неоднородности структуры производилась по индексу формования. Из приведенных данных следует, что исследуемый материал обладает существенной неоднородностью структуры как в пределах одного листа, так и у всех листов серии. Также материал обладает анизотропией упругих свойств, по TSI она равна 2,01. При этом вариация упругих свойств незначительная.

На рис. 1 представлены изображения, полученные на анализаторе формования при количественной оценке неоднородности структуры, которые подтверждают наличие неоднородностей различных размеров в структуре макулатурного картона.

Таблица 1

Физико-механические характеристики исследованного картона

Характеристика	Величина
Физические свойства	
Толщина, мкм	$209 \pm 2,5$
Масса $1 \text{ м}^2$	$130 \pm 3,1$
Характеристики неоднородности структуры	
Formation-Index	$149 \pm 4,9$
Средний размер неоднородностей $L_x$	$5,13 \pm 0,23$
Средний размер неоднородностей $L_y$	$4,94 \pm 0,30$
Вклад в индекс формования неоднородностей, размером:	
1 мм	$49,9 \pm 2,4$
2 мм	$19,7 \pm 2,7$
3 мм	$44,1 \pm 4,9$
6 мм	$18,5 \pm 9,4$
10 мм	$8,9 \pm 5,4$
16 мм	$8,3 \pm 3,8$
Характеристики анизотропии	
$TSI_{MD}$	$9,0 \pm 0,28$
$TSI_{CD}$	$4,5 \pm 0,23$
$TSI_{MD/CD}$	$2,01 \pm 0,16$
$TSO_{angle + MD}$	$-0,96 \pm 5,69$
$TSI_{Area}$	$20,1 \pm 0,31$

Таким образом, экспериментально подтверждена неоднородность структуры картона из макулатурного сырья, что должно привести к неоднородности его деформирования при растяжении.

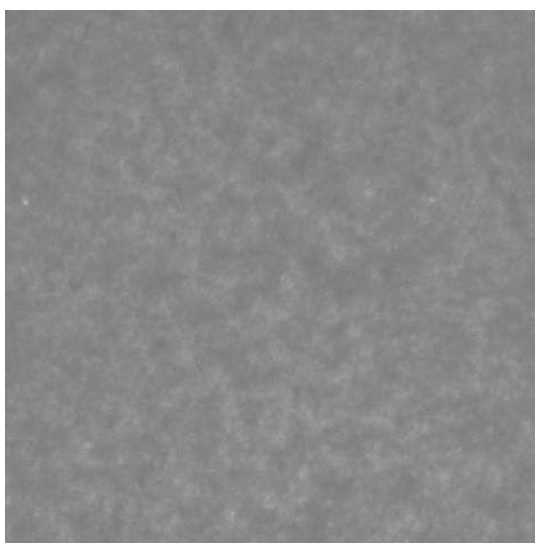


Рис. 1. Пример изображений просвета макулатурного топ-лайнера, полученных в проходящем поляризованном свете на анализаторе формирования PTI Formation Tester, образец 120×120 мм

При проведении эксперимента, на лицевую поверхность отобранных листов с помощью струйного принтера была нанесена сетка точек (узлов) с размерами ячейки 4×4 мм. Из листов картона была подготовлена серия образцов (по три образца в каждой серии) в виде полос с размерами 200×25 мм (25×6 узлов), вырезанных параллельно сторонам сетки. Таким образом, при нанесении точек (узлов) была получена дискретная сетка, состоящая из отдельных конечных элементов, имеющих общие узловые точки и в совокупности аппроксимирующих форму области исследования – образца картона. Расстояние между крайними точками (узлами) по длине образца составляет 96 мм, по ширине – 20 мм. Образцы подвергались растяжению на вертикальной разрывной машине ИТС-101 со скоростью растяжения 10 мм/мин непосредственно от момента начала приложения нагрузки и до момента физического разделения образца картона на части – разрушения. Процесс испытания сопровождался одновременной посекундной фотофиксацией процесса растяжения и регистрацией кривых зависимостей «нагрузка-удлинение». Фотосъемка произведена с разрешением 24 мегапикселя (6016×4016), режим sRGB, 24 бит со скоростью 1 кадр в секунду. Были использованы камера NIKON D600, объектив AF-S Micro-Nikkor 60/2.8 (фокусное расстояние 60 мм, диафрагма f/8, выдержка 1/100 с, светочувствительность ISO 1600).

Для математической обработки результатов проведенного эксперимента, получения данных о числовых характеристиках упруго-деформационных свойств исследуемого картона и их визуализации было использовано оригинальное программное обеспечение [6]. При выполнении обработки полученных кадров выполняется распознавание нанесенных на образец точек и вычисление координат центров точек в пикселях.

Установлено, при растяжении образцов картона, происходит смещение узлов дискретной сетки, как вдоль продольной оси образца, так и поперек (рис. 2). Это означает, что в образце имеют место продольные, поперечные и сдвиговые деформации. Это смещение неравномерно в связи с неоднородностью структуры картона. То есть, при растяжении образца, развитие локальных деформаций происходит во всех участках при одновременном перераспределении их интенсивности.

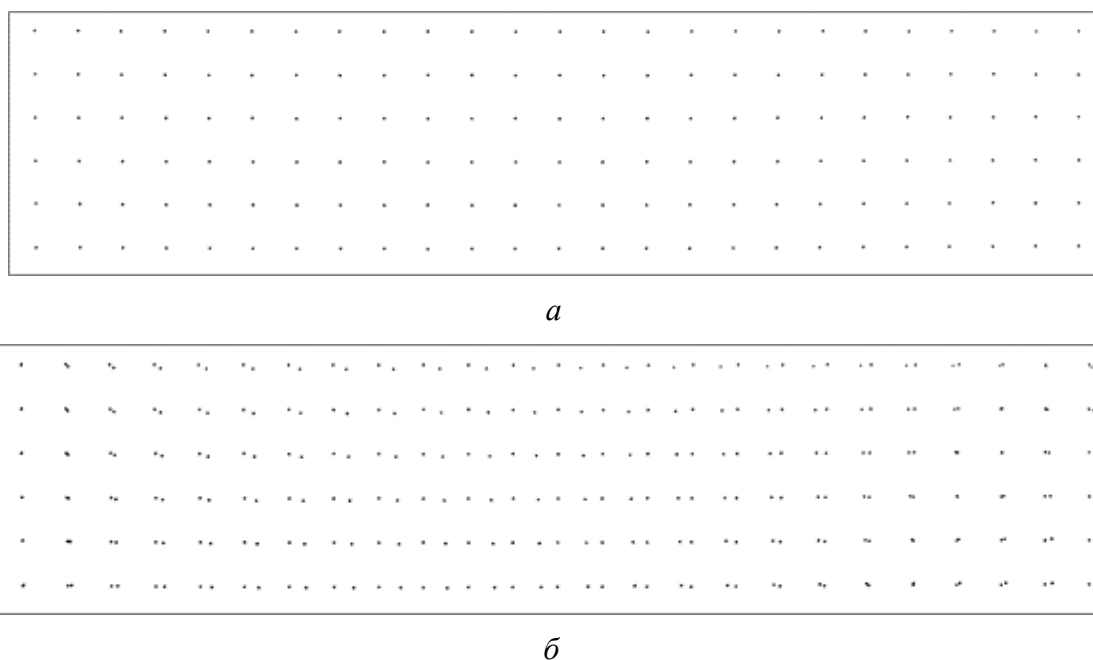


Рис.2. Цифровой снимок образца картона с нанесенной на его поверхность сеткой точек:  
 а – перед испытанием;  
 б – с общей деформацией 2 мм, наложенный на снимок исходного образца

Пользуясь величиной разрешения снимка, рассчитываются смещения точек в миллиметрах  $u_x$  по оси  $x$  (вдоль продольной оси образца),  $u_y$  по оси  $y$  (перпендикулярно продольной оси образца), и рассчитываются продольные,  $\epsilon_x$  поперечные  $\epsilon_y$ , и сдвиговые  $\gamma_{xy}$  локальные деформации по методике, описанной в работе [5].

На рис.3 представлены результаты обработки данных при растяжении образца картона топ-лайнера из макулатуры до общей деформации 2 мм, то есть практически до разрушения. Среднее растягивающее напряжение составляло величину 15 МПа.

После выполнения математической обработки координат (в пикселях) и смещений (в мм) узлов сетки до и после растяжения, получены диаграммы распределения локальных напряжений и деформаций в образце исследуемого картона, рис. 3 (а,б,в), позволяющие провести визуальную оценку их распределения. Более светлые области диаграмм соответствуют более сильным деформациям. Путем статистической обработки полученных данных с определением средних и стандартных отклонений  $\epsilon_x$  и с применением гистограмм распределения локальных напряжений и деформаций, рис. 3 (г,д,е) дана количественная оценка неоднородностей полей деформаций. Результаты представлены в табл. 2.

Растягивающие деформации  $\epsilon_x$  доминируют, поскольку возникают вдоль линии растяжения. Отметим, что поперечные деформации  $\epsilon_y$  в образце картона являются деформациями сжатия, поэтому полученные значения являются отрицательными. Сдвиговые деформации  $\gamma_{xy}$  имеют наименьшую величину, поскольку испытаны образцы в машинном направлении, и при одноосном растяжении сдвиг узлов связан исключительно с неоднородностью структуры, а не с ориентацией волокон в образце. Гистограммы распределения локальных деформаций, приведенные на рис. 3, для растягивающих и сдвиговых деформаций показывают форму распределений, близкую к симметричной и аналогичную нормальному распределению. То есть, большая часть локальных деформаций имеет значения, близкие к средним. Для сжимающих деформаций обнаружена значительная доля малых величин, что вызвало несимметричность гистограммы.

В качестве характеристики неоднородности локальных деформаций принимается среднее квадратическое отклонение  $\epsilon_x$ . Неоднородность продольных деформаций примерно в два раза ниже, чем для поперечных и сдвиговых.

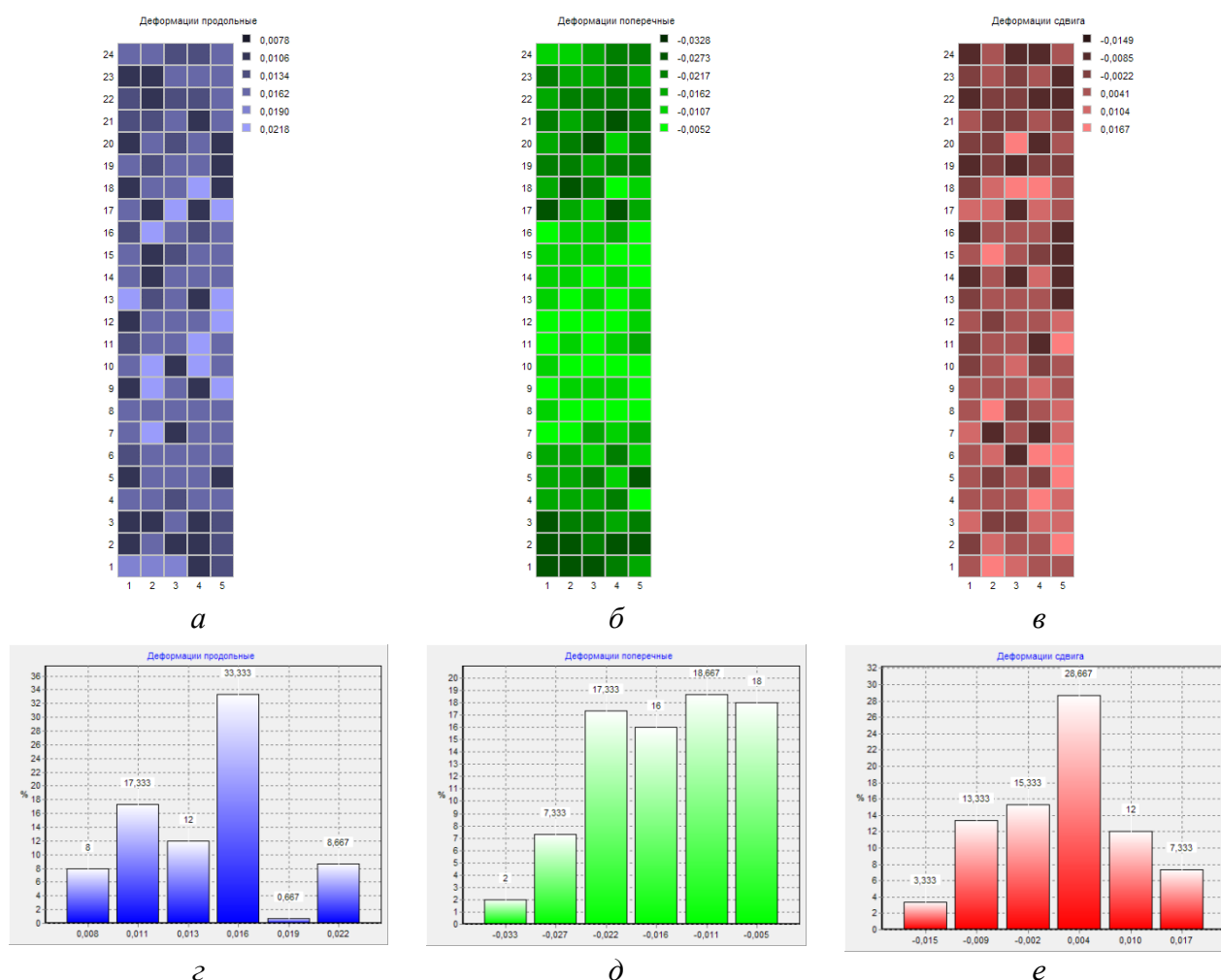


Рис. 3. Поля (а,б,в) и гистограммы (г,д,е) распределения локальных продольных  $\epsilon_x$  (а,г), поперечных  $\epsilon_y$  (б,д) и сдвиговых  $\gamma_{xy}$  (в,е) деформаций в образца картона в машинном направлении до общей деформации 2 мм

Таблица 2

Статистическая характеристика величин локальных деформаций

Характеристика	Вид локальных деформаций		
	продольные $\epsilon_x$	поперечные $\epsilon_y$	сдвиговые $\gamma_{xy}$
Среднее значение $\bar{X}$	0,0133	-0,0092	-0,0015
Среднее квадратическое отклонение $\sigma_x$	0,0043	0,0077	0,0073
Минимальное значение $X_{Min}$	0,0050	-0,0183	-0,0212
Максимальное значение $X_{Max}$	0,0218	-0,0052	0,0167
Размах варьирования $R$	0,0168	0,0132	0,0379
Коэффициент вариации $v, \%$	32,10	84,2	492,9

Использование коэффициента вариации  $v, \%$  для оценки неоднородности затруднено, поскольку при среднем значении деформаций около нуля, любые их изменения приводят к неоправданно высокому росту коэффициента вариации, что и получилось для представленных данных. Таким образом, в результате проведенных исследований экспериментально апробирована методика оценки локальных деформаций образца при растяжении применительно для макулатурного картона с белым покровным слоем. Установлено наличие и дана коли-



чественная оценка неоднородного поля деформаций, растягивающих вдоль линии нагружения, сжимающих поперек линии нагружения и сдвиговых, что обусловлено неоднородной структурой картона. Показано преобладание растягивающих деформаций, при этом наибольшую неоднородность имеют поперечные деформации.

Работа выполнена на оборудовании ИТЦ «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова) при финансовой поддержке Минобрнауки России.

### Список литературы

1. Смолин А.С., Аксельрод Г.З. Технология формования бумаги и картона. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 121 с.
2. Казаков Я.В., Зеленова С.В., Комаров В.И. Влияние неоднородности структуры на характеристики жесткости картонов-лайнеров // Лесн. журн., 2007. № 3. С.110–121. (Изв. высш. учеб. заведений)
3. Казаков Я.В. Количественная оценка неоднородности деформирования образца бумаги при одноосном растяжении с постоянной скоростью // Лесн. журн., 2013. №2. С.180–185. (Изв. высш. учеб. заведений)
4. Комаров В.И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов / –Архангельск, Изд-во АГТУ, 2002. 440 с.
5. Казаков Я.В. Характеристики деформативности как основополагающий критерий в оценке качества целлюлозно-бумажных материалов: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.21.03 / Казаков Яков Владимирович. Архангельск: 2015. 534 с.
6. Свид. № 2014617014. Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для анализа полей локальных деформаций и напряжений в образцах бумаги при растяжении (Неоднородность деформирования) / Я.В. Казаков, О.Я. Казакова, А.В. Рудалев: заявитель и правообладатель ФГАОУ ВПО САФУ (RU). № 2014614773; заявл. 22.05.2014; опубл. 09.07.2014, Реестр программ для ЭВМ. 1 с.

---

УДК 676.08

### ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ СКОПА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ РЕКУПЕРАЦИИ

**Кашина Мария Олеговна,**  
инженер, Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания»,  
г. Пермь, E-mail: [Mariya.Kashina@pcbк.perm.ru](mailto:Mariya.Kashina@pcbк.perm.ru)

**Житнюк Виталий Анатольевич,**  
кандидат технических наук, главный технолог,  
Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания»,  
г. Пермь, E-mail: [Vitaly.Zhitnyuk@pcbк.ru](mailto:Vitaly.Zhitnyuk@pcbк.ru)

**Идиатуллин Анвар Мугинович,**  
кандидат технических наук,  
директор, ООО «Технобум-2», Московская область, п. Правдинский,  
E-mail: [amidiatullin@gmail.com](mailto:amidiatullin@gmail.com)

**Белкина Екатерина Васильевна,**  
заведующая лабораторией, Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания», г. Пермь, E-mail: [Ekaterina.Belkina@pcbк.perm.ru](mailto:Ekaterina.Belkina@pcbк.perm.ru)

**Ключевые слова:** скоп, волокно, макулатура, композиция.

**Аннотация.** В данной работе проведен анализ структуры скопа с очистных сооружений ПЦБК в сравнении с макулатурным волокном. Исследована возможность применения скопа в композиции картона. В ходе проведенных работ установлено, что в скопе содержится большая доля средних и крупных частиц, схожих по размеру и составу с макулатурным волокном, которые необходимо возвращать в производственный цикл.

## THE STUDY OF THE STRUCTURE OF WASTE TREATMENT FACILITIES FOR SUBSEQUENT RECOVERY

**Kashina Maria Olegovna,**  
engineer, Perm Pulp and Paper Company,  
Perm, E-mail: [Mariya.Kashina@pcbк.perm.ru](mailto:Mariya.Kashina@pcbк.perm.ru)

**Gitnik Vitaly Anatolievich,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, chief technologist,  
Perm Pulp and Paper Company, Perm, E-mail: [Vitaly.Zhitnyuk@pcbк.ru](mailto:Vitaly.Zhitnyuk@pcbк.ru)

**Idiatullin Anwar Muginovich,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Director, LLC «Technobum-2»,  
Moscow region, Pravdinskiy, E-mail: [amidiatullin@gmail.com](mailto:amidiatullin@gmail.com)

**Belkina Ekaterina Vasilievna,**  
head of laboratory, Perm Pulp and Paper Company,  
Perm, E-mail: : [Ekaterina.Belkina@pcbк.perm.ru](mailto:Ekaterina.Belkina@pcbк.perm.ru)

**Key words:** waste product, fiber, wastepaper, composition.

**Abstract.** The article presents a Structural analysis of waste treatment facilities and a comparison with waste paper in PCBK group of enterprises. The possibility of the use of waste in the composition of cardboard is investigated. During the carried-out works it is established, the waste contains a large proportion of medium and large particles, similar in size and composition to waste paper, which must be returned to the production cycle.

Сточные воды с высоким содержанием волокна и крахмала, образующиеся в результате формирования бумажного полотна и промывки технологического оборудования, отводятся на очистные сооружения предприятия [1]. На первой стадии очистки стоки подвергаются механическому отстаиванию, в результате чего из потока выделяется основная часть ушедшего с подсеточными и промывными водами волокна [2].

Образующийся в процессе отстаивания осадок представляет собой смесь волокна порядка 90% и минеральных примесей около 10%. Влажность скопа составляет порядка 80% [3].

В связи с большими объемами образования скопа (до 30 т.а.с.в. в сутки), являющегося ценным сырьевым ресурсом, актуальной является разработка технологических решений, позволяющих использовать образующийся отход в качестве вторичного сырьевого ресурса.

С целью оценки возможности использования ресурсного потенциала скопа, были выполнены исследования его структурного состава. Для визуализации структуры волокнистых и неволокнистых элементов скопа на электронном микроскопе компании «BIOVET-FERMENT» сделаны фотографии с увеличением в 1000 и 5000 раз (рис.1.2).

На фото видно, что скоп состоит преимущественно из разрушенных волокон, которые в свою очередь состоят из фибрилл диаметром около 0,3 мкм. Видны темные овальные включения неволокнистого характера размером около 12 мкм. Видны светлые включения кристаллического характера размером от 0,5мкм до 1-3 мкм, - вероятно, частицы наполнителя. Видны участки неволокнистого губчатого характера, крупные структурные элементы, похожие на сосуды.

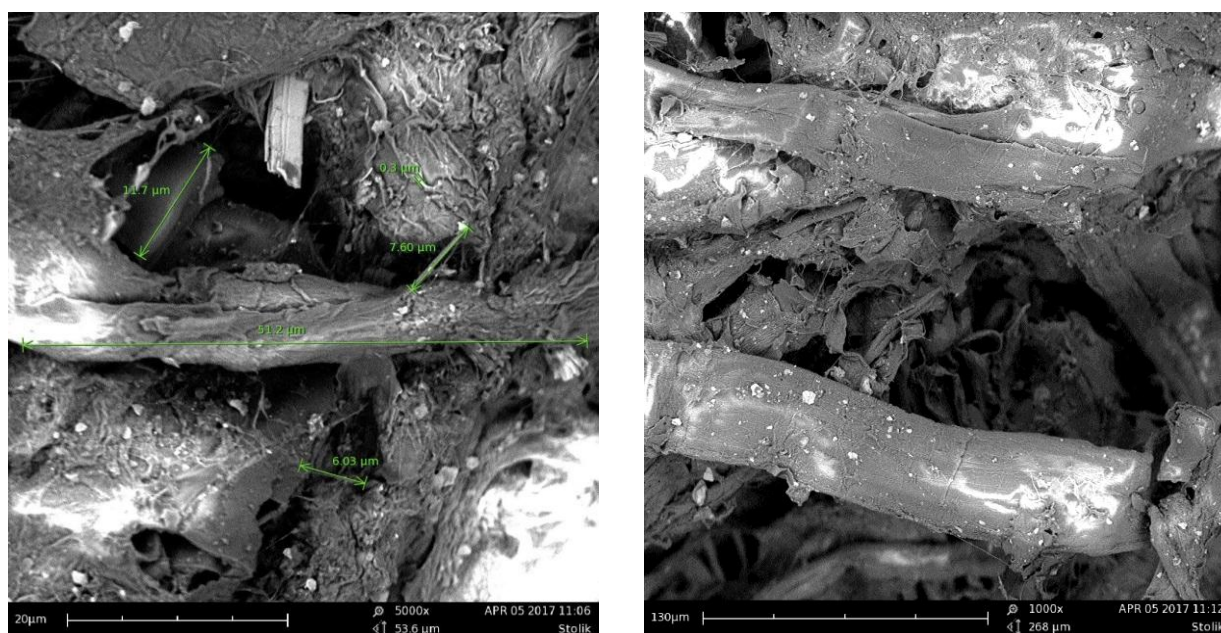


Рис. 1, 2. Фрагменты скопа

В целом, на всех изображениях скоп состоит из разрушенных волокон, где разрушена и фибриллярная структура крупного волокна. Видны отслоившиеся стенки волокна и разрушенная упаковка фибрилл. К стенке волокон примыкают губчатые элементы, предположительно – лигнин [1].

Для возможности сравнения скопа с производственным полуфабрикатом ГП «ПЦБК» были сделаны фотографии макулатурной массы (рис. 3,4).

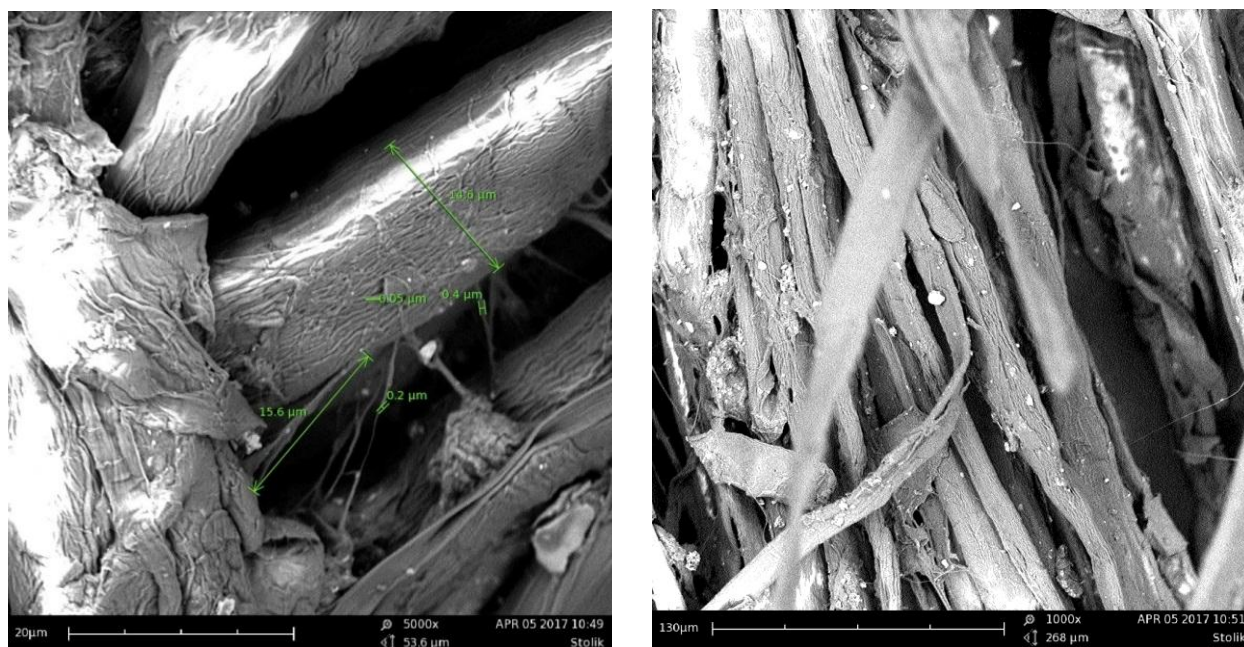


Рис. 3, 4. Макулатурная масса. Увеличение 5000х.

Из фотографий видно, что толщина волокон разная примерно от 10-17 мкм до 28мкм и более. Присутствуют более мелкие ленточные элементы и фрагменты волокон. Стенки во-



локон разрушены, видна внутренняя структура волокон, которые состоят из множества фибрилл диаметром примерно 0,2-0,4 мкм. Присутствует губчатый элемент размером 5-8 мкм, похожий на лигнин. Кроме того, заметны неволоконистые включения (наполнитель, клей) размером примерно от 0,3 мкм до 7 мкм.

С целью более подробного изучения структуры скопа проведен анализ размера частиц скопа и макулатурной массы ГП «ПЦБК» на высокоточном лазерном приборе - анализаторе размера частиц “Analyzette 22” (Франция), который оценивает распределение частиц в суспензии в диапазоне размеров от 0,040 мкм до 2000 мкм. Метод основан на светорассеянии [4]. Исследования проведены для понимания состава скопа ГП «ПЦБК» и его отличий от состава стандартной макулатурной массы.

Результаты представлены в графических кривых распределения частиц (дифференциальной и интегральной). По оси абсцисс – размер частиц в мкм, по оси ординат – доля частиц соответствующего размера.

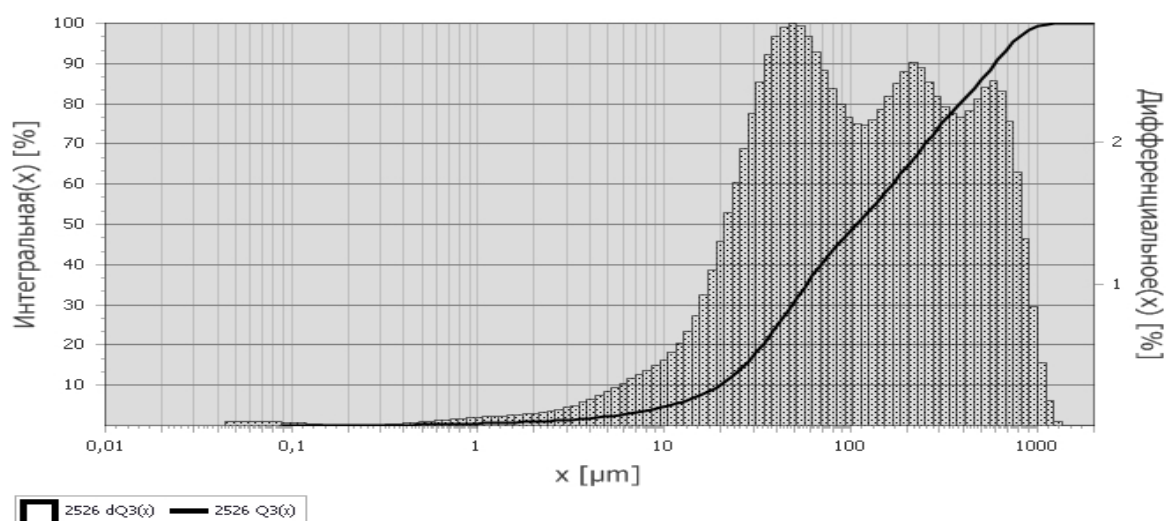


Рис.5. Волокна макулатуры. Распределение частиц

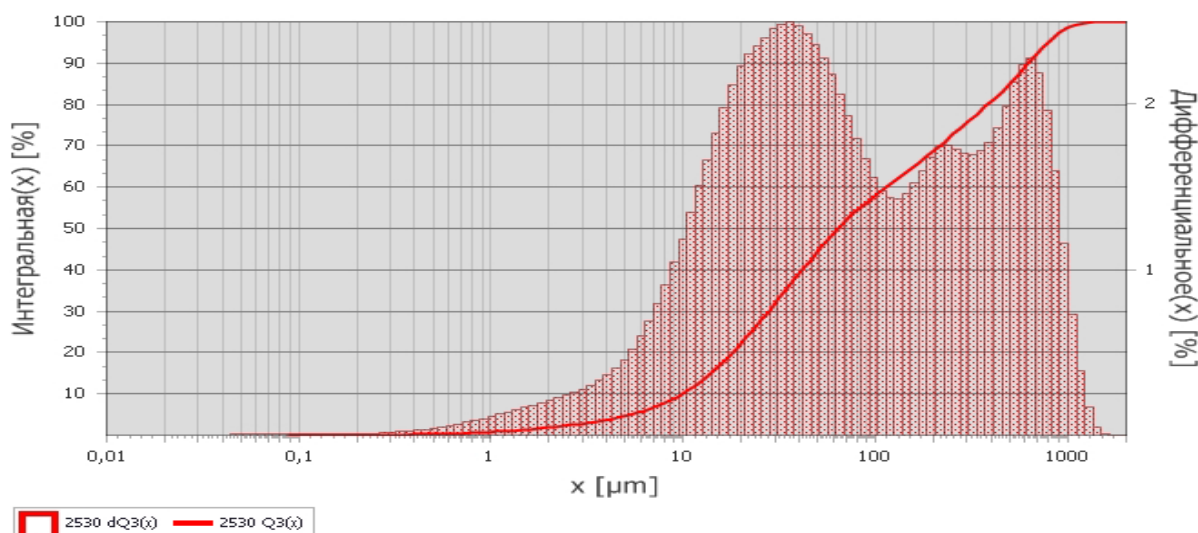


Рис.6. Волокна скопа. Распределение частиц

По результатам исследований можно отметить, что средний размер частиц в скопе примерно в 1,5 раз меньше, чем в макулатурной массе. Наибольшее отличие отмечается в частицах размером менее 10 мкм, в макулатурной массе таких частиц примерно в 2 раза меньше, чем в скопе.

В то же время частиц с размером более 200 мкм в макулатурной массе и в скопе уже практически одинаковая доля. В скопе содержится более 40 % частиц со средним размером более 100 мкм, которые по размеру и составу соответствуют средним и крупным частицам макулатурной массы и могли бы быть с пользой возвращены в бумагоделательный процесс.

Поскольку скоп содержит в своем составе в основном макулатурное волокно, целесообразной является разработка способов использования его ресурсного потенциала.

Дальнейшие лабораторные испытания заключались в исследовании возможности применения скопа в композиции картона. Для этого в макулатурную массу дозировали скоп в разном процентном соотношении. Влияние скопа на качество макулатурной массы оценивалось по следующим критериям: прочностные показатели, способность массы к водоотдаче на сетке, степень удержания волокна на сетке.

Результаты лабораторных испытаний представлены в табл.1. Как видно из представленных данных, дозирование скопа в количестве 10 % в композицию картонного полотна допустимо.

При этом основные параметры массы остаются на прежнем уровне, способность массы к водоотдаче и удержанию волокна на сетке не ухудшается, степень помола увеличивается не значительно.

При дальнейшем увеличении доли скопа в композиции массы приводит к снижению прочностных показателей, ухудшению внешнего вида отливки и водоотдачи.

Таблица 1

Испытания макулатурной массы на физико-механические показатели

№	Композиция бумажной массы	Степень помола, °ШР	Опт. плотность фильтрата	Скорость водоотдачи (700 мл), сек	Механические показатели (отл. 100 г/м <sup>2</sup> )		
					Сопр. прод., кПа	Излом, чдп	Разр. длина, м
1	2	3	4	7	8	9	10
1	макул масса 100 %	31	0,081	37,2	264	40	4190
2	макул масса 90 % + скоп 10%	34	0,082	44,3	253	45	4390
3	макул масса 80 % + скоп 20%	39	0,086	50,5	235	40	4430
4	макул масса 70 % + скоп 30%	50	0,097	85,2	238	40	4460
5	макул масса 60 % + скоп 40%	55	0,107	97,1	202	32	4350
6	макул масса 50 % + скоп 50%	59	0,114	135,1	215	11	3960

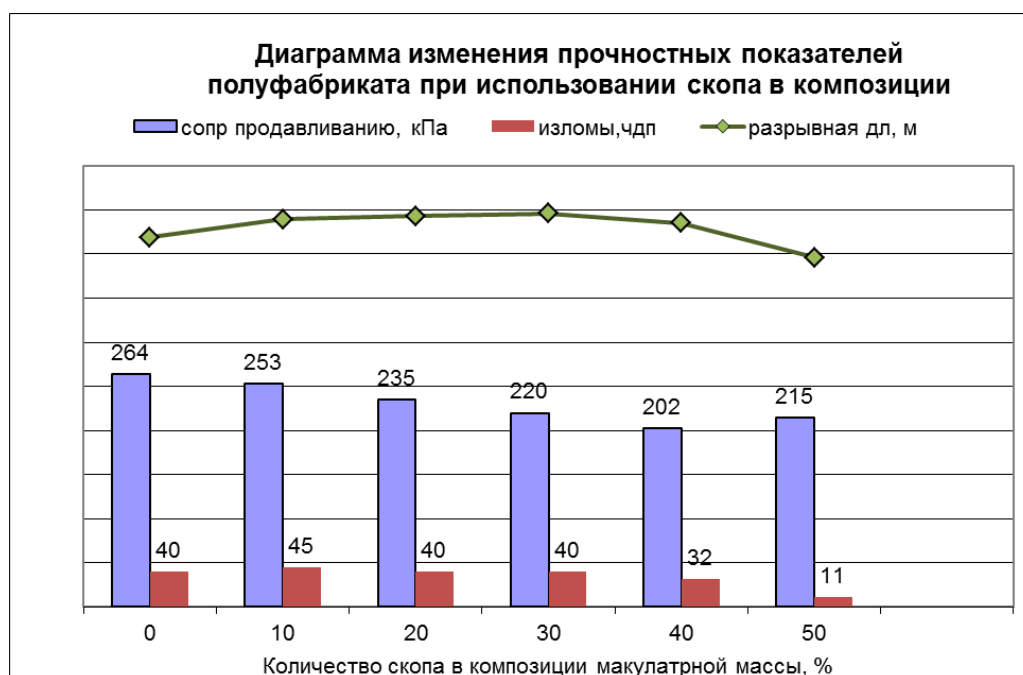


Рис.7. Прочностные показатели макулатурной массы

На основании проведенных исследований установлено, что структура волокон скопа и составляющих элементов схожа с макулатурным волокном. Так же установлено, что скоп содержит более 40 % частиц со средним размером более 100 мкм, которые по размеру и составу соответствуют средним и крупным частицам макулатурной массы. Исследована возможность применения скопа в композиции картона. Таким образом, появляется возможность заменить часть дорогостоящего макулатурного волокна скопом.

### Список литературы

1. Заморуев, Б. М. Использование воды в целлюлозно-бумажном производстве / Б.М. Заморуев. - Москва: Высшая школа, 2002. - 216 с.
2. Технологический регламент №21-9 Биологической очистки промстоков ПЦБК.
3. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. I. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 3. Производство полуфабрикатов. – СПб.: Политехника, 2004. – 316 с.
4. Рабочая инструкция к лазерному анализатору размера частиц «Analysette 22».

УДК 676.274

## О ВЗАИМОСВЯЗИ НЕРАЗРУШАЮЩИХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕСТЛАЙНЕРА

Галимзянова Алина Рамисовна,  
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: [alinagalimzianowa@yandex.ru](mailto:alinagalimzianowa@yandex.ru)

Казаков Яков Владимирович,  
д-р техн. наук, доцент,  
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: [j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru)

Лавров Игорь Валентинович,  
канд. техн. наук, зам. главного технолога,  
ООО «Сухонский картонно-бумажный комбинат»,  
г. Сокол, E-mail: [ig.lavrov@yandex.ru](mailto:ig.lavrov@yandex.ru)

**Ключевые слова:** тестлайнер, жесткость, формование, анизотропия, корреляция, прогнозирование.

**Аннотация.** Представлена возможность прогнозирования сопротивления продавливанию тестлайнера с применением линейных многофакторных регрессионных моделей по характеристикам, полученных неразрушающими методами исследования: ультразвуковым методом определения анизотропии жесткости при растяжении на приборе L&W TSO Tester и оптическим методом оценки неоднородности структуры на анализаторе формования PTA-Line Formation Tester. Для прогнозирования использована специально разработанная программа для ЭВМ.

## ON THE RELATIONSHIP OF NON-DESTRUCTIVE AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF TESTLINER

Galimzyanova Alina Ramisovna,  
master student, Northern (Arctic) Federal University  
named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, E-mail: [alinagalimzianowa@yandex.ru](mailto:alinagalimzianowa@yandex.ru)

Kazakov Yakov Vladimirovich,  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences,, Associate Professor,  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,  
Arkhangelsk, E-mail: [j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru)

Lavrov Igor Valentinovich,  
Ph.D. of Engineering Sciences, deputy Chief Technologist, Sukhona Cardboard  
and Paper Mill LLC, Sokol, E-mail: [ig.lavrov@yandex.ru](mailto:ig.lavrov@yandex.ru)

**Key words:** cardboard testliner, stiffness, formation, anisotropy, correlation, forecasting.

**Abstract.** The relationship between the bursting strength of the testliner and characteristics obtained by non-destructive methods of investigation are presented. Ultrasonic method for determining the tensile stiffness anisotropy on L&W TSO Tester and optical method of evaluating the heterogeneity of the structure on the PTA-Line Formation Tester are used. The possibility to predict the strength of kraft liner using multivariate linear regression models is presented. For forecasting the specially designed computer program was used.



Для производителей картона очень важно быстро получить информацию о качестве произведенной продукции, чтобы в случае необходимости быстро ввести корректировки в технологический процесс. Предпочтение отдается on-line системам, в которых применяются неразрушающие методы, реализованные в сканирующей системе профилеров. Эти методы в настоящее время используются для измерения массы  $1 \text{ м}^2$ , влажности и толщины картона или бумаги в режиме на КДМ, производящих картон-лайн и флутинг. Однако, проблема быстрой и достоверной оценки величины механических свойств картона до сих пор до конца не решена.

Для картона очень важны показатели механической прочности – абсолютное сопротивление продавливанию, разрушающее усилие при сжатии кольца RCT, сопротивление сжатию короткого образца SCT, жесткость при изгибе. Для определения полного набора стандартных механических характеристик картона требуется несколько часов, в течение которых необходимо выполнить отбор образцов с тамбура КДМ в виде нескольких кусков полотна или среза с тамбура, провести кондиционирование, нарезку образцов, испытания и расчеты. То есть технолог получает информацию о качестве продукции с задержкой, исключающей быстрое принятие оперативных решений по корректировке параметров технологического процесса.

В современной исследовательской практике наибольшее применение нашли ультразвуковые и оптические неразрушающие методы исследования свойств бумаги и картона, в которых исследованию подвергается срез бумаги или картона с тамбура КДМ, при этом длина образца равна обрезающей ширине машины [1,3,4].

Основным преимуществом неразрушающих методов является сохранение целостности материала, поскольку при их проведении не происходит разрушение образца и сохраняется возможность определения других характеристик на этом же образце. Другим важным преимуществом является скорость их выполнения и, как следствие, возможность проведения измерений в режиме on-line. Последние разработки позволяют оценивать жесткость и другие свойства картона непосредственно при работе КДМ в непрерывном режиме [3], применяя математические модели, связывающие комплекс неразрушающих характеристик с показателями механической прочности. Однако для каждого бумаги или картона требуется проведение отдельной калибровки.

Для определения упругих свойств бумаги и картона используется неразрушающий ультразвуковой метод испытаний, который реализован в приборе L&W TSO Tester (TSO – Tensile Stiffness Orientation – направление ориентации жесткости при растяжении) [1,4]. Метод основан на зависимости скорости прохождения ультразвука в плоскости бумаги с ее эластичностью (упругостью).

Для количественной оценки неоднородности структуры используют оптические анализаторы формования. Получаемое на этих приборах цифровое изображение участка бумаги или картона в поляризованном проходящем свете, обрабатывается методами частотного Фурье-анализа и рассчитываются характеристики, количественно оценивающие как общую неоднородность структуры, так и вклад в общий результат неоднородностей различных размеров [5].

На кафедре целлюлозно-бумажных и лесохимических производств САФУ разработана методика прогнозирования величины сопротивления продавливанию, сопротивления сжатию и изгибу картона крафт-лайн из первичного волокна на основании измерения толщины, профиля ТСО, и индекса формования [6,7]. Для прогнозирования используется комплекс неразрушающих характеристик, вся процедура занимает несколько минут и имеет несомненные преимущества.

Для анализа профилей характеристик картона и прогнозирования его механических свойств, была разработана компьютерная программа “Kraftliner” [6], которая позволяет по результатам измерений комплекса неразрушающих характеристик выполнить следующие процедуры обработки данных:

- организовать хранение данных по результатам неразрушающих и разрушающих испытаний образцов по ширине КДМ;
- выбрать независимые и зависимые характеристики для статистического анализа;
- выполнить корреляционный анализ и построить корреляционные поля для произвольно выбранных свойств с целью отбора влияющих характеристик;
- по выбранным характеристикам: рассчитать коэффициенты уравнений регрессии и рассчитать прогнозные значения механических характеристик;
- построить профили неразрушающих и механических (экспериментальных и прогнозных) характеристик картона [6].

Целью данной работы является проверка применимости технологии прогнозирования, разработанной для картона из первичного волокна, для оценки свойств картона для плоских слоев гофрированного картона тестлайнер из макулатуры.

Эксперимент проведен на картоне тестлайнер, массой  $115 \text{ г/м}^2$  производства ООО «Сухонский КБК». Картон изготавливается двухслойный, в качестве сырья применяется макулатура марки МС-56.

Использованные в эксперименте образцы представляют собой полосы картона длиной 3200 мм и шириной 300 мм, длина полосы соответствует ширине КДМ. Полосы картона подготовлены с помощью подрезчика L&W Sample Trimmer. Измерения свойств полосы картона неразрушающими методами производилось с шагом 100 мм, в результате получается практически непрерывный профиль картона по 31 позиции. Для всех образцов выполнены измерения неразрушающих характеристик на целой полосе картона:

- толщина картона  $\delta$ , мкм, на приборе L&W Micrometer по ГОСТ 27015–86;
- анизотропия жесткости при растяжении ультразвуковым методом на приборе L&W TSO Tester [4];
- неоднородность структуры на анализаторе формования PTA-Line Formation Tester [5];
- толщина картона  $\delta$ , мкм, на приборе L&W Micrometer по ГОСТ 27015–86;
- масса  $1 \text{ м}^2 M$ , г.

В качестве характеристики прочности на вырезанных из полосы картона образцах определено сопротивление продавливанию  $\Pi$ , кПа на приборе L&W Bursting Strength Tester по ГОСТ 13525.8–86.

Испытания целлюлозно-бумажного волокнистого материала на TSO-тестере позволяют количественно оценить жесткость при растяжении, анизотропию жесткости материала и ее изменение по ширине тамбура. На TSO-тестере измерены характеристики:  $TSI_{MD}$  – индекс жесткости в машинном направлении;  $TSI_{CD}$  – индекс жесткости в поперечном направлении;  $TSI_{MD/CD}$  – соотношение индексов жесткости в машинном и поперечном направлении;  $TSO\text{-}angle$  – угол TSO.

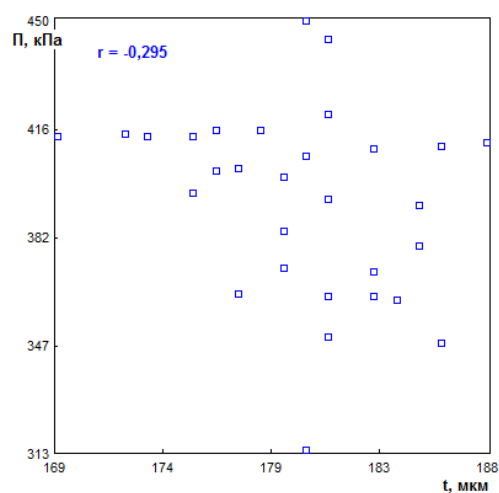
Для количественной характеристики неоднородности структуры картона в нашем эксперименте использован PTA-Line Formation Tester [4], на котором получены цифровые изображения участка картона, размером  $12 \times 12 \text{ см}$  в поляризованном проходящем свете, и методами частотного Фурье-анализа рассчитаны характеристики: индекс формования  $I_f$ , характеризующий сумму интенсивности колебаний неоднородности яркости пикселей, средний размер флокулов в направлении осей  $OX$  и  $OY$   $L_{cp}$ , мм, характеристики неоднородностей с размерами 1, 2, 3, 6, 10 и 16 мм.

Для количественной оценки взаимосвязи механических и неразрушающих характеристик для всех характеристик определены коэффициенты парной корреляции, результаты приведены в табл. 1. Согласно полученным данным, предполагаемая парная зависимость между сопротивлением продавливанию и характеристиками, определяемыми неразрушающими методами не подтверждается. Величины коэффициентов парной корреляции не превышают 0,3, только для угла  $TSO_{angle}$  составляет 0,54. Примеры корреляционных полей представлены на рис.1. Таким образом, для надежного прогнозирования парные зависимости не применимы, а требуется использование множественных зависимостей.

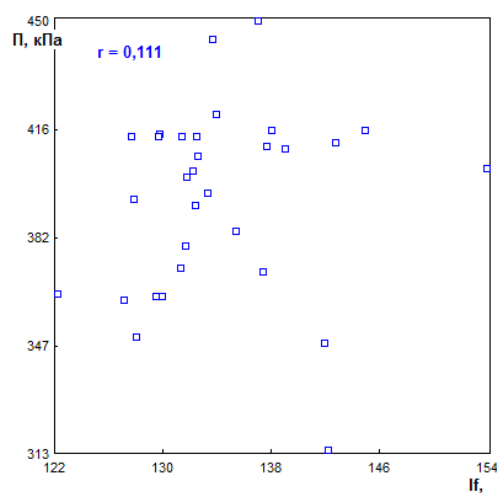
Таблица 1

Парная корреляция исследованных характеристик тестлайнера

$X_i \backslash Y_i$	$m$	$\delta$	$TSI_{md}$	$TSI_{cd}$	$md/cd$	angle	$I_f$	$L_{cp}$	3 mm	6 mm	$\Pi$
$m$	1	0,07	0,15	-0,10	0,16	0,12	-0,30	-0,48	-0,47	-0,03	0,001
$\delta$	0,07	1	-0,14	-0,70	0,62	-0,61	0,21	-0,06	0,07	-0,22	-0,29
$TSI_{md}$	0,15	-0,14	1	0,18	0,26	-0,19	-0,29	-0,08	-0,36	0,40	-0,30
$TSI_{cd}$	-0,10	-0,70	0,18	1	-0,90	0,30	-0,27	0,09	-0,08	0,36	-0,04
$md/cd$	0,16	0,62	0,26	-0,90	1	-0,39	0,13	-0,11	-0,08	-0,18	-0,09
angle	0,12	-0,61	-0,19	0,30	-0,39	1	0,04	0,00	0,26	-0,33	0,54
$I_f$	-0,30	0,21	-0,29	-0,27	0,13	0,04	1	0,37	0,52	-0,19	0,11
$L_{cp}$	-0,48	-0,06	-0,08	0,09	-0,11	0,00	0,37	1	0,27	0,10	0,20
3 mm	-0,47	0,07	-0,36	-0,08	-0,08	0,26	0,52	0,27	1	-0,63	0,03
6 mm	-0,03	-0,22	0,40	0,36	-0,18	-0,33	-0,19	0,10	-0,63	1	-0,08
$\Pi$	0,001	-0,29	-0,30	-0,04	-0,09	0,54	0,11	0,20	0,03	-0,08	1



а



б

Рис. 1. Примеры корреляционных полей для зависимостей сопротивления продавливанию тестлайнера от неразрушающих характеристик

При проведении множественного регрессионного анализа из всего списка неразрушающих характеристик тестлайнера были последовательно выбраны несколько факторов. Исследованы несколько различных комбинаций факторов, с числом влияющих факторов  $k$  от трех до девяти. Результаты представлены в табл. 2.

Оценка качества моделей проводится по их статистическим характеристикам – коэффициентам множественной корреляции между экспериментальными и расчетными данными  $R$  и средней относительной погрешности  $\Delta$ , %. При малом числе используемых для прогнозирования факторов, коэффициенты множественной корреляции имеют низкие значения, что свидетельствует о недостаточной адекватности таких моделей. Причем результат зависит от списка выбранных свойств.

Увеличение количества учитываемых факторов до 5 приводит к росту величины  $R$  до величины больше 0,5, и снижению погрешности прогнозирования  $\Delta$  ниже 5 %. Дальнейший ввод дополнительных факторов в регрессионные модели приводит к улучшению их статистических характеристик, а при 9 учитываемых факторах средняя погрешность прогнозирования составляет величину 4,3 %. Проверочные расчеты были проведены для величин факторов, приведенных в табл. 2.

Таблица 2

Влияние количества учитываемых факторов на результаты прогнозирования сопротивления продавливанию тестлайнера

Факторы $x_i$			Учитываемые факторы и результаты прогнозирования				
Наименование	Величина	Обозначение	$k = 3$	$k = 3$	$k = 5$	$k = 7$	$k = 9$
$M, \text{г/м}^2$	112,5	$x_1$		+		+	+
$\delta, \text{мкм}$	179,7	$x_2$			+	+	+
$TSI_{md}, \text{кН}\cdot\text{м/Г}$	10,62	$x_3$	+		+	+	+
$TSI_{cd}, \text{кН}\cdot\text{м/Г}$	5,09	$x_4$	+		+	+	+
$TSI_{md/cd}$	2,09	$x_5$		+			+
$TSO_{angle}, \dots^\circ$	6,35	$x_6$				+	+
$I_f$	133,9	$x_7$	+		+	+	+
$L_{cp}, \text{мм}$	5,19	$x_8$				+	+
3 мм	41,39	$x_9$		+	+		
6 мм	10,2	$x_{10}$					+
$\Pi_{\text{эксп}} = 393 \text{ кПа}$		$R$	0,298	0,096	0,561	0,664	0,709
		$\delta, \%$	5,708	6,109	4,939	4,331	4,295
	$\Pi_{\text{расч}}$	$Y$	393,23	393,15	392,86	393,06	392,2

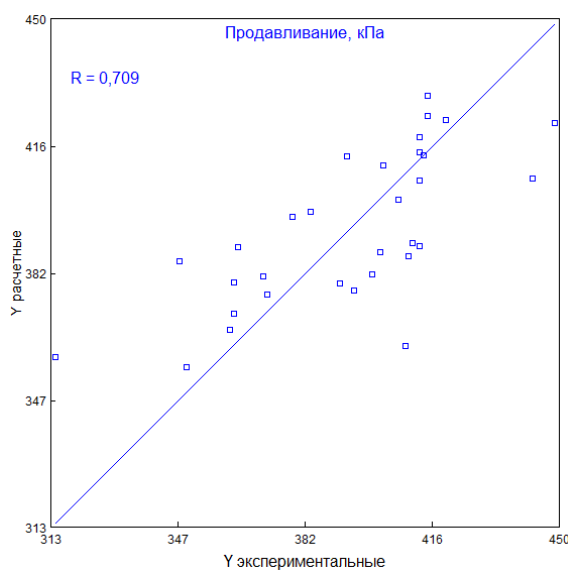


Рис. 2. Корреляция экспериментальных и расчетных значений при прогнозировании сопротивления продавливанию тестлайнера для 9 влияющих факторов

Расчетные значения сопротивления продавливанию во всех случаях оказались близкими среднему значению продавливания по тамбуру 393 кПа, что говорит об адекватности разработанных моделей и технологии прогнозирования.

Экспериментально измеренный и расчетный (для 9 факторов) профиль тестлайнера по сопротивлению продавливанию представлены на рис.3. Расчетный профиль повторяет тенденцию изменения экспериментального профиля, но с меньшей вариацией величины сопротивления продавливанию в соседних точках.

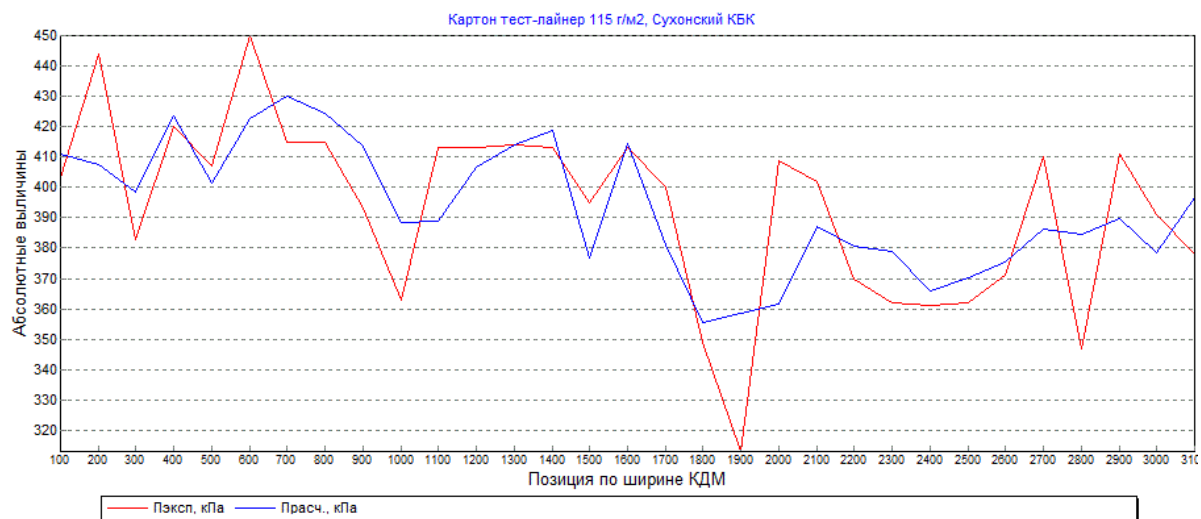


Рис. 3. Экспериментально измеренный и расчетный профиль тестлайнера по сопротивлению продавливанию

Таким образом, разработана технология и программное обеспечение, позволяющие прогнозировать профили механических характеристик макулатурного картона по результатам неразрушающего контроля.

Получены экспериментальные и расчетные данные, подтверждающие высокий прогнозирующий потенциал тестлайнера, определяемых неразрушающими (ультразвуковым и оптическим) методами, если рассматривать их в комплексе.

С применением разработанного программного обеспечения предложена технология прогнозирования величины сопротивления продавливанию тест-лайнера на основании измерения характеристик, полученных неразрушающими методами.

Работа выполнена на оборудовании ИТЦ «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова) при финансовой поддержке Минобрнауки России.

## Список литературы

1. Белоглазов В.И., Гурьев А.В., Комаров В.И. Анизотропия деформативности и прочности тарного картона и методы ее оценки. Архангельск: изд-во АГТУ, 2005. 252 с.
2. Казаков Я.В., Зеленова С.В., Комаров В.И. Влияние неоднородности структуры на характеристики жесткости картонов-лайнеров // Лесн. журн. 2007. №3. С.110–121. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Линдблад Г., Юха Ю.С. Настройка БДМ для оптимизации прочностных свойств картона для плоских слоев гофрированного картона и бумаги для гофрирования с помощью анализа на TSO тестере // В сб. «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов» Матер. I Междун. научн.-техн. конфер. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, 2011. С. 78–87.
4. Lindblad, G. Fürst T. The ultrasonic measuring technology on paper and board. Lorentzen&Wettre, Elanders Tofters AB, 2001. 100 p.
5. Lab formation Sensor 2D FSensor [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.techpap.com/lab-formation-sensor,lab-device,6.html> (дата обращения: 18.05.2015)
6. Свид. № 2016614009 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для прогнозирования качества крафт-лайнера по результатам неразрушающего контроля (Kraft-Liner) / Я.В.Казаков, О.С.Беляев: заявитель и правообладатель ФГАОУ ВО САФУ (RU). – № 20166111457; заявл. 24.02.2016; опубл. 12.04.2016, Реестр программ для ЭВМ. 1 с.

7. Казаков Я.В., Беляев О.С., Филиппов И.Б. К вопросу о прогнозировании механических свойств крафт-лайнера по результатам неразрушающего контроля // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2016 №1. С.68–73.

---

УДК 674.81

## **ДРЕВЕСНЫЙ ПЛАСТИК БЕЗ СВЯЗУЮЩЕГО НА ОСНОВЕ ЛИГНИНА КАК ОТХОДА ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Круглов Данил Андреевич,**  
студент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [tom-art@ya.ru](mailto:tom-art@ya.ru)

**Артёмов Артём Вячеславович,**  
канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [tom-art@vandex.ru](mailto:tom-art@vandex.ru)

**Савиновских Андрей Викторович,**  
канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [savinovskihand@gmail.com](mailto:savinovskihand@gmail.com)

**Бурындин Виктор Гаврилович,**  
д-р техн. наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [ygb@usfeu.ru](mailto:ygb@usfeu.ru)

**Ключевые слова:** древесный пластик, древесные отходы, лигнин, карбамид, утилизация.

**Аннотация.** В целлюлозно-бумажном комплексе в качестве одного из видов отхода после гидролиза древесины остается невостребованным технический лигнин. Прирост данного отхода составляет порядка 400 тыс. тонн в год. Данный отход не находит полного и рационального использования. На сегодня это экологическая проблема, так как такие отвалы лигнина являются мощными источниками загрязнения окружающей среды (воды, воздуха, почвы, человеческого организма и т. д.). Поэтому проблема утилизации гидролизного лигнина, который является сырьевой базой для организации производства новых строительных материалов, экологически чистых производств промышленного и топливно-энергетического комплексов, является весьма актуальной.

## **WOOD PLASTIC WITHOUT BINDER BASED ON LIGNIN AS WASTE PULP AND PAPER INDUSTRY**

**Kruglov Danil Andreevich,**  
student, Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [tom-art@ya.ru](mailto:tom-art@ya.ru)

**Artyemov Artyem Vyacheslavovich,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [tom-art@vandex.ru](mailto:tom-art@vandex.ru)

**Savinovskih Andrey Viktorovich,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [savinovskihand@gmail.com](mailto:savinovskihand@gmail.com)

**Burundin Victor Gavrilovich,**  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [vgb@usfeu.ru](mailto:vgb@usfeu.ru)

**Key words:** wood plastics, wood waste, lignin, lignin, urea, recycling.

**Abstract.** *In the pulp and paper complex as a type of waste after hydrolysis of wood remains unclaimed technical lignin. The increase in this waste is about 400 thousand tons per year. This waste does not find the full and rational use. Today it is an environmental problem, as such dumps of lignin are powerful sources of pollution (water, air, soil, human body, etc.). Therefore, the problem of utilization of hydrolysis lignin, which is the raw material base for the organization of production of new building materials, environmentally friendly production of industrial and fuel and energy complexes, is very urgent.*

В целлюлозно-бумажных производствах образуется большое количество отходов, таких как опил, лигнин, активный ил и др., которые не находят полного и рационального использования. Значительные ресурсы отходов целлюлозно-бумажного комплекса остаются невостребованными, часто вывозятся на полигоны отходов и/или подвергаются сжиганию, тем самым увеличивая нагрузку на окружающую среду.

Согласно указу президента РФ от 31.12.2015 N 683 "О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации" экологическая безопасность страны включена в систему обеспечения национальной безопасности, направленная, прежде всего, на существенное улучшение экологической ситуации в стране, на совершенствование системы экологического нормирования и введения мер экономического стимулирования хозяйствующих субъектов для внедрения наилучших технологий [1-3].

Как результат, потребуется внедрение способов производства, которые при производстве большего объема продукции и оказания услуг используют меньше ресурсов и сокращают объемы образующихся отходов и вовлекают отходы в повторный хозяйствующий оборот.

Работами А.Н. Минина [4] и В.Н. Петри [5] показана возможность получения изделий прессованием из мелких отходов деревообработки без добавления синтетических смол или минеральных связующих, то есть в качестве пресс-материала используется древесная прессовочная масса без связующего (ДП-БС). Несмотря на ряд достоинств и очевидные экологические преимущества, технология производства ДП-БС широкого применения так и не нашла – исходные пресс-композиции обладают низкими показателями пластично-вязкостных свойств [4, 5].

Этот вопрос может быть решен путем добавления в пресс-материал модифицирующих добавок (карбамид), что в значительной степени может ускорить процессы образования ДП-БС, улучшить физико-механические свойства пластика, а также провести его получение в более "мягких" условиях [6, 7].

Целью исследования является нахождение композиции с оптимальным соотношением в ней древесных частиц, лигнина и карбамида, которая давала бы хорошую текучесть и высокие эксплуатационные свойства получаемого пластика.

Так же целью нашего исследования являлась разработка новой композиции из древесных частиц, лигнина и карбамида для придания готовым изделиям лучшей водостойкости и биостойкости.

Методом математического планирования эксперимента было изучено влияние содержания лигнина ( $Z_1$ ) и карбамида ( $Z_2$ ) в пресс-материале, фракционного состава частиц ( $Z_3$ ), а так же влажности пресс-композиции ( $Z_4$ ) на водопоглощение (В), разбухание (L), плотность



(P), твердость (T), убыль массы (G) и модуль упругости (E) полученных при одинаковых параметрах прессования образцов.

Для составления матрицы планирования эксперимента был выбран регрессионный двухуровневый четырехфакторный анализ математического планирования полного факторного эксперимента [8]. На основании составленной матрицы планирования (см.табл. 1), была получена серия образцов из ДП-БС.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

№	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	Y(B)	Y(L)	Y(P)	Y(T)	Y(G)	Y(E)
1	30	3	0,2	4	57,82	45,08	1,210	53,27	10,46	1365,6
2	70	3	0,2	4	21,58	17,73	1,211	68,59	12,69	1123,54
3	30	10	0,2	4	46,2	35,18	1,175	57,72	15,25	1146,28
4	70	10	0,2	4	21,27	12,28	1,158	66,24	14,19	923,04
5	30	3	1	4	62,07	47,81	1,171	68,33	8,99	692,11
6	70	3	1	4	26,2	19,15	1,143	35,94	11,99	739,56
7	30	10	1	4	50,87	21,7	1,162	72,87	12,01	125,7
8	70	10	1	4	19,45	10,55	1,160	37,66	11,99	911,23
9	30	3	0,2	10	39,2	26,52	1,124	53,80	23,35	1074,46
10	70	3	0,2	10	31,4	29,24	1,080	5,12	42,16	110,6
11	30	10	0,2	10	44,36	28,09	1,179	47,59	19,47	1019,19
12	70	10	0,2	10	23,8	22,52	1,042	3,5	40,62	85
13	30	3	1	10	47,73	40,37	1,160	19,84	19,56	371,61
14	70	3	1	10	29,9	23,65	1,182	28,78	14,68	280,26
15	30	10	1	10	47,76	36,64	1,053	18,37	31,72	323,56
16	70	10	1	10	31,23	18,33	1,080	11,46	26,49	154,35

Диаметр образцов составил 30 мм. Все образцы были отпрессованы при одинаковых значениях давления и температуры, а также времени выдержки и охлаждения, значения которых задавались по данным литературных источников [4-7].

После определения физико-механических свойств полученных образцов и получения откликов на матрицу эксперимента, все экспериментальные данные были обработаны с помощью пакета ППП “Microsoft Excel”[9].

Были определены следующие адекватные уравнения регрессий для значимых параметров оптимизации, с оценкой их достоверности:

$$Y(B)= 100,8 - 1,04 \cdot Z_1 - 4,94 \cdot Z_4 + 0,068 \cdot Z_1 \cdot Z_4 \text{ при достоверности } 1-\alpha = 0,996;$$

$$Y(L)= 80,44 - 0,75 \cdot Z_1 - 4,51 \cdot Z_4 + 0,054 \cdot Z_1 \cdot Z_4 \text{ при достоверности } 1-\alpha = 0,911;$$

$$Y(E)= 2203,6 - 1973,96 \cdot Z_3 + 22,93 \cdot Z_1 \cdot Z_3 - 2,63 \cdot Z_1 \cdot Z_4 \text{ при достоверности } 1-\alpha 0,991.$$

Высокие значения достоверности для параметров оптимизации (B, L, E), дают основание для применения системы линейных уравнений для описания изучаемых процессов влияния переменных факторов на параметры оптимизации. Неадекватные уравнения получились по таким параметрам оптимизации, как убыль массы, твердость и плотность.

На основании адекватных уравнений регрессии, были построены поверхности зависимости, изображенные на рисунках 1, 2, 3 и 4.

Анализируя полученные графические зависимости, можно сделать следующие выводы.

1. Разбухание ДП-БС значительно уменьшается при уменьшении влажности композиции и увеличении содержания в ней гидролизного лигнина. Если в диапазоне разбухания 40-45% (рис.1) влажность композиции находится в пределах 4-6 %, а содержание лигнина составляет 30-40%, то в диапазоне разбухания 25-30% влажность композиции находится в пределах 4,5-6,5%, а содержание лигнина составляет около 70%.

2. Водопоглощение ДП-БС заметно уменьшается с увеличением содержания лигнина и уменьшением влажности композиции. Причем содержание лигнина оказывает большее влияние на водопоглощение пластика, чем влажность композиции (рис.2).

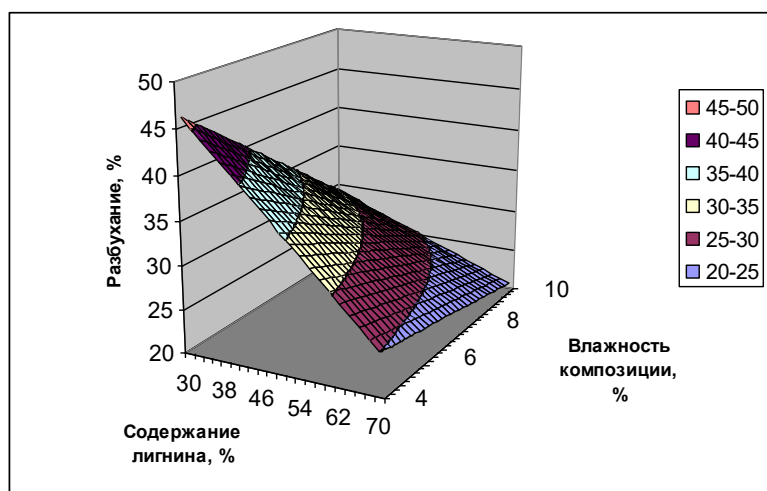


Рис. 1. Влияние содержание лигнина на разбухание ДП-БС

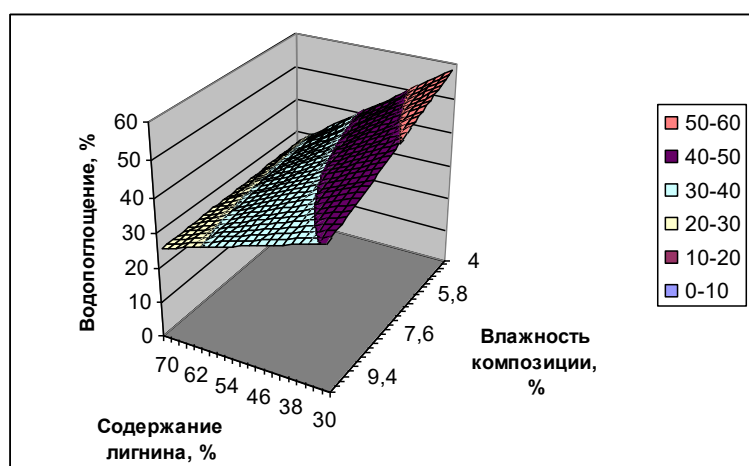


Рис. 2. Влияние содержание лигнина на водопоглощение ДП-БС

3. Для модуля упругости построены две поверхности (рис. 3 и 4), так как на этот показатель оказывают влияние два значимых фактора. Из поверхности, изображенной на рисунке 3 видно, что модуль упругости пластика незначительно возрастает при увеличении содержания в пресс-композиции лигнина, и заметно возрастает при уменьшении размера фракции составляющих частиц композиции. В диапазоне увеличения модуля упругости ДП-БС 2000-2500, размер частиц находится в пределах 0,2 мм. То есть чем меньше размер фракции, тем больше модуль упругости пластика.

На рис. 4 изображена зависимость модуля упругости пластика от влажности композиции и размера фракции. В диапазоне модуля упругости от 500 до 1000, влажность композиции находится в пределах 5,5-8,5 %, а фракционный состав частиц композиции в пределах 0,2-0,5 мм.

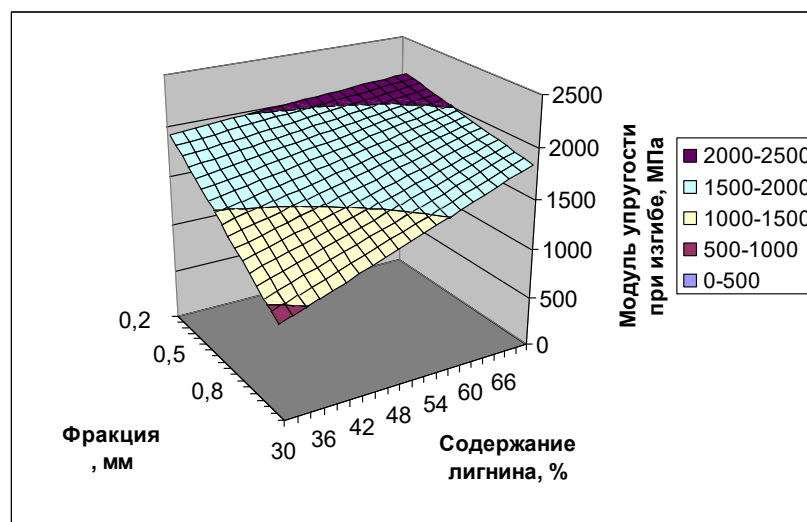


Рис.3. Влияние содержание лигнина и фракции пресс-материала на модуль упругости при изгибе ДП-БС

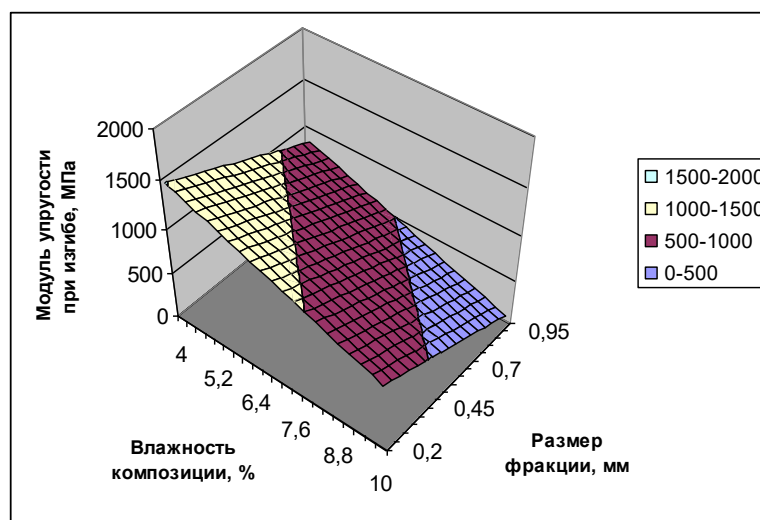


Рис.4. Влияние содержание влажности и фракции пресс-материала на модуль упругости при изгибе ДП-БС

Исходя из анализа данных поверхностей, можно предложить оптимальный состав рецептуры для ДП-БС на основе лигнина, исходя из условий наименьшего водопоглощения и разбухания пластика и наибольшего модуля упругости:

содержание лигнина, %	70
влажность композиции, %	4
фракционный состав, мм	0...0,4
содержание карбамида, %	3

### Список литературы

1. Указ президента РФ от 31.12.2015 N 683 "О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации"
2. Об охране окружающей среды. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ
3. Об отходах производства и потребления. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ

4. Минин А.Н. Технология пьезотермопластиков / А.Н.Минин. - М.: Лесная промышленность, 1965. – 296 с.
5. Плитные материалы и изделия из древесины и других одресневевших остатков без добавления связующих / В.Н.Петри [и др.]. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 360с.
6. Савиновских А. В. Получение пластиков из древесных и растительных отходов в закрытых пресс-формах [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук (25.12.2015) / Савиновских Андрей Викторович; УГЛТУ. Екатеринбург, 2015. 20 с.
7. Артёмов А. В. Разработка технологии получения изделий экструзией из древесных отходов без добавления синтетических связующих [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук (10.05.2010) / Артёмов Артём Вячеславович; УГЛТУ. Екатеринбург, 2010. 16 с.
8. Ахназарова С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. М.: Высшая школа, 1985. 349с.
9. Курицкий, Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0 / Б.Я.Курицкий. С-Пб.: ВHV – Санкт-Петербург, 1997. 384с.

**СЕРВИС И ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ  
ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ.  
КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ МОДЕРНИЗАЦИИ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ  
И КАРТОНОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН**

---

УДК 676+62-7

**РОЛЬ ДИАГНОСТИКИ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Санников Александр Александрович,  
д-р техн. наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [sannikov@usfeu.ru](mailto:sannikov@usfeu.ru)**

**Куцубина Нелли Валерьевна,  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [Nelly3416@mail.ru](mailto:Nelly3416@mail.ru)**

***Ключевые слова:** техническая эксплуатация, бумагоделательное оборудование, диагностика и анализ технического состояния.*

***Аннотация.** В докладе обсуждается сущность и стратегии технической эксплуатации бумагоделательного оборудования на основе контроля, диагностики и анализа его технического состояния.*

**THE ROLE OF DIAGNOSTICS IN IMPROVING THE TECHNICAL OPERATION  
OF PAPERMAKING EQUIPMENT**

**Sannikov Alexander Alexandrovich,  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [sannikov@usfeu.ru](mailto:sannikov@usfeu.ru)**

**Kutsubina Nelli Valeryevna,  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [Nelly3416@mail.ru](mailto:Nelly3416@mail.ru)**

***Key words:** technical operation, papermaking equipment, diagnostics and analysis of technical condition.*

***Abstract.** The report discusses the nature and strategy of technical operation of paper equipment on the basis of control, diagnosis and analysis of its technical condition.*

Под технической эксплуатацией понимается поддержание оборудования в работоспособном состоянии. Затраты на техническую эксплуатацию оборудования вносит существенный «вклад» в себестоимость выпускаемой продукции.

Существуют следующие стратегии технического обслуживания и ремонта: послеаварийные, планово-предупредительные (ППР), по состоянию. При любой стратегии, форме и способе технического обслуживания важнейшее значение имеет своевременное информирование о его техническом состоянии. Такая информация обеспечивается контролем, диагностикой, мониторингом технического состояния оборудования [1].

В соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13375-2013 применяются следующие термины и определения.

*Контроль технического состояния* – сбор и обработка данных, характеризующих техническое состояние машины в разные моменты времени.

*Диагностирование* – анализ диагностических признаков или комплексов диагностических признаков с целью определения природы неисправности или отказа (вида, места, степени развития).

*Отказ* – утрата объектом способности выполнять требуемую функцию.

*Неисправность* – состояние объекта, когда его элементы проявляют признаки деградации, что может привести к отказу. Следствием неисправности является отказ.

*Диагностический признак* – параметр сигнала, несущий информацию о техническом состоянии объекта.

В докладе используется понятие «анализ технического состояния объекта диагностирования», под которым понимается метод анализа системы с целью идентификации функций и функциональных отказов оборудования, а также оценки причин и последствий отказов, нормирования параметров отказов и их диагностических признаков [2].

Бумагоделательные машины (далее - БМ) представляют собой сложнейшие системы взаимосвязанных технологических процессов различной физической природы и конструктивных решений, реализующих эти технологические процессы. Чрезвычайно сложно математическое моделирование этих процессов для принятия технических решений не только при проектировании БМ, но также при их технической эксплуатации, включая методы их контроля, диагностики и анализа технического состояния.

БМ – это автоматически действующая поточная линия, работающая непрерывно без резервирования, имеющая более сотни валов и цилиндров и тысячи подшипников. Количество точек и объектов диагностирования приближается к тысяче. Отказ одного вала и даже одного подшипника приводит к остановке не только БМ, но и всего технологического оборудования в потоке БМ. Цена отказа только одного подшипника очень велика. Поэтому на предприятиях ЦБП контроль и диагностика оборудования зародились как диагностика БМ.

Рассмотрим особенности контроля и диагностики БМ. Особенность диагностики валов и роторов БМ заключается в том, что валы и цилиндры в БМ взаимосвязаны посредством сетки, сукна, бумаги или образуют батареи. Батареи валов различают двух типов. В батареях первого типа валы контактируют по образующим. К батареям этого типа относятся прессы, каландры, накаты. В батареях второго типа валы связаны гибкой упругой связью в виде паразитного зубчатого привода. В ряде случаев валы связаны одновременно по образующим цилиндров и посредством сукна, например, в прессовой части. В сушильной части связь цилиндров осуществляется посредством сетки и паразитного привода.

Источниками вибрации батарей валов могут быть силовые воздействия, например силы инерции неуравновешенных масс валов; кинематические воздействия, например нецилиндричность поверхностей соприкасаемых валов; параметрические воздействия, например неравномерность упругих свойств сукна в контакте валов; автофрикционные воздействия, например воздействие сил трения сетки относительно крышки отсасывающего ящика. Трудно распознаваемым структурным параметром технического состояния привода является его статическая неопределимость. Например, привод сушильного цилиндра осуществляется одновременно сеткой и паразитным приводом. Вышеназванные причины плохо распознаются при диагностике.

Отличие анализа технического состояния от диагностики заключается в том, что при диагностике диагностируемый дефект известен, выявляется лишь величина структурного параметра технического состояния объекта диагностирования. Параметры вибрации сопоставляются с предельными нормативными значениями. При анализе технического состояния сначала выявляется причина возникновения колебаний, а затем оценивается величина диагностического признака путем сравнения его с нормативным значением.

Выявление нормативного параметра вибрации – наиболее сложный этап диагностики. На предприятиях ЦБП эксплуатируются БМ различного типа, работающие на разных скоростях. Для качественной диагностики необходимо устанавливать нормативные параметры вибрации для каждой БМ, работающей на конкретной скорости. Нормативные параметры вибрации БМ в соответствии с требованиями ГОСТ 26493-85 [3] следует принимать как ориентировочные.

Проблема совершенствования технической эксплуатации машин и оборудования на основе диагностики не нова. Более 30 лет назад была опубликована статья профессора А. Горелика [4], в которой было отмечено, что затраты на техническую эксплуатацию оборудования в 4-6 раз превышают его первоначальную стоимость. Системы технической диагностики высоко экономичны. Их использование позволяет получить до 10-15 рублей прибыли на 1 руб. затрат. Позднее еще более страстно выразился профессор В. Ключев: «Внедрение диагностики – задача государственной безопасности страны» [5]. Роль и значение диагностики технических систем регламентируются на государственном уровне. В ГОСТ Р ИСО 18436-2-2005 [6] регламентируются требования к подготовке и контролю уровня подготовки специалистов по диагностике оборудования.

Внедрение диагностики на предприятии обеспечивает:

увеличение общей эффективности оборудования путем мониторинга его состояния и предотвращение аварий;

повышение качества выпускаемой продукции путем мониторинга и диагностики оборудования;

сокращение затрат на техническое обслуживание и ремонт путем планирования сроков и объема работ по результатам диагностики;

повышение качества ремонтов путем внедрения входного контроля, балансировки и выверки;

разработку и внедрение диагностических паспортов оборудования.

Следует отметить, что организация входного контроля подшипников на 5-7 % сокращает затраты на обслуживание, продлевает срок службы подшипников в 2-3 раза. Балансировка увеличивает срок службы подшипников в 5-7 раз, снижение потребляемой энергии на 4-6 %. Центровка снижает вибрацию в 3-5 раз, потребление энергии на 2-3 %.

Однако организация служб диагностики на предприятиях ЦБП с целью повышения их эффективности требует совершенствования.

Так, в настоящее время на большинстве предприятий службы диагностики организованы при отделе главного механика. Эти службы диагностируют преимущественно механическое оборудование, точнее механическую составляющую оборудования. Диагностикой электрической составляющей оборудования занимаются специалисты отдела главного энергетика. Контроль технического состояния КИП и автоматики – за соответствующей службой, контроль технологического процесса осуществляется службой главного технолога.

То есть, контроль и диагностика технического состояния сложнейшей технической системы - бумагоделательной машины осуществляется четырьмя независимыми структурами со слабой информационной связью. Такая распыленность контроля и анализа технического состояния единого агрегата - БМ или отдельной системы, например оборудования целлюлозного производства, ведет к распылению средств диагностики, к нередко встречающимся на предприятиях противоречиям отдельных служб в оценке причин возникновения и развития тех или иных дефектов и повреждений. А между тем, эффективность деятельности всех структур технической эксплуатации бумагоделательных машин оценивается самым универсальным показателем – простоем БМ.

Будущее развитие диагностики оборудования видится в концентрации кадров, средств диагностики в единой структуре предприятия, которую условно назовем отделом контроля, диагностики и анализа технического состояния оборудования или отделом надежности оборудования, как это принято на АО «Монди СЛПК».



Диагностирование – процесс многоуровневый. Он включает в себя виброконтроль, вибродиагностику и вибромониторинг, а также так называемую проактивную диагностику.

При виброконтроле выявляется состояние диагностируемого объекта с оценкой «допустимо» - «недопустимо» без выявления характера, месторасположения и глубины дефекта.

При диагностике выявляется и оценивается наличие, месторасположение, характер и глубина дефекта. Вибродиагностика производится периодически и непрерывно (при вибромониторинге). При проактивной диагностике выявляется также причина износа, повреждения, отклонения, прогнозируется развитие дефекта. В настоящее время на большинстве предприятий осуществляется одноуровневая система диагностики, когда одни и те же лица осуществляют виброконтроль и в сравнительно редких случаях вибродиагностику.

При многоуровневой диагностике на первом уровне осуществляется виброконтроль цеховыми службами или представителями службы диагностики, закрепленными за соответствующими цехами или производствами. Они по соответствующим графикам и маршрутам осуществляют виброконтроль с передачей результатов на второй уровень.

На втором уровне производится измерение и анализ вибрационного сигнала с целью выявления характера, глубины и места дефекта, производится прогнозирование остаточного ресурса диагностируемого объекта, принимается решение по замене, техническому обслуживанию и ремонту диагностируемого узла.

На третьем уровне обобщаются результаты диагностирования, выявляются причины появления и развития дефектов, определяются предельные уровни диагностических сигналов или измерений характера сигналов, например спектрального состава.

На четвертом уровне разрабатываются технические решения по повышению надежности диагностируемых объектов. Вероятно, для большинства служб диагностики целесообразно объединение третьего и четвертого уровней.

Часто причинами повышенных колебаний БМ и другого оборудования ЦБП являются неуравновешенность валов и цилиндров, роторов, несоосность сопрягаемых посредством муфт валов, а также непараллельность осей сопрягаемых валов в батареях, например в прессах, а также непараллельность осей валов, связанных сеткой, сукном, бумагой. Трудно распознать автофрикционные колебания в конструкциях.

Обеспечение балансировки валов, выверки осей валов, соединяемых муфтами, и параллельности осей валов, связанных сеткой, сукном, бумагой, требует специальных знаний и технических средств. Выполнение этих операций требует их централизации на предприятии. Для этих целей лучше всего подходит централизованная служба диагностики. На многих предприятиях балансировку валов, их выверку и обеспечение параллельности сопрягаемых валов осуществляет служба диагностики оборудования.

Следует отметить, что функции диагностики технологического процесса выполняет встроенная система автоматического регулирования технологического процесса производства бумаги. Вероятно, в будущем система диагностики механической и электрической части БМ будет также стационарной, встроенной в систему управления БМ.

Наиболее сложный вопрос при организации служб диагностики – определение оптимальной штатной численности этой службы. Существует несколько методик расчета. Для крупного предприятия определение штатной численности службы диагностики можно производить на основе норм численности ремонтного персонала. По результатам анализа опубликованных источников численность служб диагностики составляет от 2,5 до 10% от численности ремонтного персонала производства.

Для небольших предприятий можно использовать методику расчета штатной численности службы диагностики, включающую определение годового количества диагностик и затраты времени на одну диагностику. Например, на измерение и обработку одного спектра вибросигнала тратится 7 минут. Требуется определить количество точек диагностирования и баланс времени в год на диагностику всех агрегатов, что для крупного предприятия трудно реализуемо.

### Список литературы

1. Куцубина Н.В. Совершенствование технической эксплуатации бумагоделательных и отделочных машин на основе их виброзащиты и вибродиагностики: монография/ Н.В. Куцубина, А.А. Санников. – Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2014 – 144 с.
2. Куцубина Н.В. теория и практика оценки технического состояния трубчатых валов бумагоделательных машин: монография/ Н.В. Куцубина. - Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2016 – 132 с.
3. ГОСТ 26493 – 85. Вибрация. Технологическое оборудование целлюлозно-бумажного производства. Нормы вибрации. Технические требования.
4. Горелик А. Решать наболевшую проблему // Коммунист. – 1986. - №11. – С.41-43.
5. Ключев В.В. Техническая диагностика // Контроль. Диагностика. – 2014. - №3. – С.5-11.
6. ГОСТ Р ИСО 18436-2-2005 Функции персонала в области вибрационной диагностики и контроля состояния машин.

---

УДК 676+62-7

### КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Сушко Андрей Евгеньевич,  
генеральный директор, ООО НПО «Диагностические технологии»,  
г. Москва, E-mail: [as@diatechnic.ru](mailto:as@diatechnic.ru)

**Ключевые слова:** комплексное диагностирование, мониторинг, обслуживание и ремонт.

**Аннотация.** В докладе обосновываются направления развития диагностики технического состояния оборудования как основы совершенствования системы технического обслуживания и ремонта технологического оборудования различных отраслей промышленности, в том числе целлюлозно-бумажных производств.

### COMPLEX MONITORING AND DIAGNOSTICS THE TECHNICAL CONDITION OF MACHINERY AND EQUIPMENT

Sushko Andrey Evgenievich,  
general Director, LLC NPO «Diagnostic technologies»,  
Moscow, E-mail: [as@diatechnic.ru](mailto:as@diatechnic.ru)

**Key words:** complex diagnosis, monitoring, maintenance and repair.

**Abstract.** The report substantiates the directions of development of diagnostics of the technical condition of the equipment as the basis for improving maintenance and repair of technological equipment of various industries, including pulp and paper production.

Специалисты НПО «Диатех» на протяжении многих лет занимаются вопросами повышения надежности эксплуатации роторного оборудования тепловых и атомных станций, металлургических и целлюлозно-бумажных комбинатов, предприятий оборонно-промышленного комплекса и оптимизацией затрат на его техническое обслуживание и ремонт с использованием современных методов и средств технической диагностики.

Деятельность НПО «Диатех» ориентирована на комплексное и экономически эффективное решение задач обеспечения безаварийной эксплуатации и оптимального обслуживания в рамках всего предприятия. Разовое выполнение работ по вибродиагностике не решает основных проблем по поддержанию работоспособного состояния оборудования и сокращению расходов на его обслуживание и ремонт. Необходимо решение целого комплекса задач, связанных с первичным техническим аудитом, оснащением служб предприятия современными аппаратно-программными измерительными средствами, организацией мониторинга технического состояния оборудования и его поузловой диагностики, повышением качества ремонтов за счет внедрения стендового контроля, балансировки, центровки, обучения специалистов [1,2].

Последствиями экономии на диагностике и мониторинге стала авария на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 году. В результате аварии погибло 75 человек, оборудованию и помещениям станции нанесен серьезный ущерб. Последствия аварии отразились на экологической обстановке акватории, прилегающей к ГЭС, на социальной и экономической сферах деятельности всего региона.

В итоговом докладе парламентской комиссии по расследованию обстоятельств, связанных с возникновением ЧС на Саяно-Шушенской ГЭС отмечалось [3]: «...не был должным образом организован постоянный контроль технического состояния оборудования оперативно-ремонтным персоналом... Основной причиной аварии стало непринятие мер к оперативной остановке второго гидроагрегата и выяснению причин вибрации».

Развитие промышленности может быть описано вторым законом диалектики - «переходом количественных изменений в качественные». Так, первая промышленная революция в первой половине XIX века (переход от ручного труда к машинному) вызвала колоссальный рост производительности труда, ускоренный урбанизацией, началом быстрого экономического роста и увеличением жизненного уровня населения.

Второй промышленной революцией в конце XIX века и начале XX века называют распространение поточного производства и конвейерных линий, железных дорог, электричества и химикатов.

Третьей (цифровой) промышленной революцией считают переход от аналоговых технологий к цифровым, внедрение систем АСУ и информационно-коммуникационных средств. В рамках продолжающейся сейчас третьей промышленной революции зарождается четвертая, суть которой заключается в тотальной автоматизации и роботизации. Человеческий фактор во многих случаях будет исключен, и сама система будет принимать технические решения, основываясь на показаниях аппаратуры.

Контроль технического состояния оборудования на основе различных методов технического диагностирования зародился в конце второй промышленной революции и в настоящее время интенсивно развивается, обеспечивая основные задачи современного производства: повышение эффективности управления производством и оптимизацию затрат на техническое обслуживание и ремонт оборудования.

Поставленные задачи осуществляются посредством мониторинга оборудования и своевременной оценке его технического состояния. Основная цель мониторинга – обеспечение безопасности, функциональной надежности, снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт оборудования, повышение качества ремонтов, уменьшение потерь от простоев в результате отказов и преждевременных выводов в ремонт, выявление причин повышенной вибрации оборудования и их устранение.

Эффективный комплексный мониторинг всего производства обеспечивает оценку текущего технического состояния всего парка основного и вспомогательного технологического оборудования, его диагностику и прогноз остаточного ресурса с использованием всего арсенала методов и средств технического диагностирования. Данный мониторинг предусматривает проверку качества изготовления и монтажа, контроль в процессе эксплуатации, органи-

зацию системы предремонтного и послеремонтного контроля, совершенствование ремонтного процесса.

Для предприятий ЦБП комплексный мониторинг включает следующие мероприятия: общий контроль текущего состояния оборудования;

диагностику основного технологического оборудования: древесно-подготовительного, древесно-массного, бумагоделательных и отделочных машин, целлюлозного оборудования;

диагностику вспомогательного оборудования (электродвигателей, насосов, вентиляторов, компрессоров и др.);

последовательный и непрерывный мониторинг и углубленную диагностику основного и вспомогательного оборудования;

виброзащиту особо ответственного оборудования (насосно-компрессорного оборудования целлюлозных производств);

балансировку валов, цилиндров, роторов основного и вспомогательного оборудования;

входной контроль подшипников качения на специальном стенде;

центровку (выверка соосности) валов приводов (двигателя и редуктора, редуктора и приводной конструкции), устранение внутренней несоосности и муфт;

обеспечение параллельности осей батареи валов, а также валов, связанных гибкой упругой лентой (сукном, сеткой, бумагой);

послеремонтный контроль электродвигателей, насосов, вентиляторов, редукторов и других типовых конструкций на специализированных стендах.

Естественно, что реализация входного контроля технического состояния оборудования на специальных стендах возможна лишь для крупных предприятий ЦБП или для группы предприятий различных отраслей промышленности, сосредоточенных в регионе. Электродвигатели, редукторы, муфты, подшипники и другие типовые конструкции имеют схожие дефекты, повреждения, отклонения. Входной контроль их технического состояния может производиться на близком смежном предприятии.

Для входного контроля, диагностики и балансировки составных частей оборудования ЦБП промышленность выпускает соответствующие стенды и установки. Для балансировки роторов вспомогательного оборудования (якоря электродвигателей, роторы насосов, компрессоров, оборудования для производства древесной массы) выпускаются резонансные балансировочные станки грузоподъемностью от 10 кг до 3 тонн, вертикальные балансировочные станки рабочих колес насосов, компрессоров, крыльчаток, дисков.

Для балансировки валов, цилиндров бумагоделательных машин могут использоваться резонансные балансировочные станки грузоподъемностью до 65 тонн, в том числе балансировочный станок *БМ 20* грузоподъемностью 20 тонн, спроектированный специально для балансировки валов и цилиндров бумагоделательных машин.

Для многоплоскостной балансировки валов в собственных подшипниках предназначен комплекс *UMS-16*.

Для входного контроля подшипников качения также разработан ряд установок. Так, фирма «Диатех» предлагает для входного контроля подшипников стенды *СВК-А* и *ПРОТОН*.

Для центровки и выверки валов используется система лазерной центровки *КВАНТ*, система выверки геометрии *Easy Laser* и различные устройства и приспособления для выверки валов, соединяемых муфтами.

Стеновой комплекс *UMS-16* используется для диагностики электродвигателей по вибрации, току и температуре.

При комплексном диагностировании технологического оборудования на предприятиях ЦБП необходимы хранение, обработка и поиск сотен тысяч записей диагностической информации в виде спектров вибрации, вибрационных сигналов и других диагностических критериев. Специалистами НПО «Диатех» разработана программная среда *SAFE PLANT*, которая представляет собой единую интеллектуальную платформу для сбора, хранения, отображения и анализа различной диагностической информации с целью повышения надежно-

сти эксплуатации и эффективности обслуживания и ремонта всего парка технологического оборудования на основании сведений о его фактическом и прогнозируемом состоянии. Она включает информацию о периодическом и постоянном мониторинге оборудования, о расширенных испытаниях, стендовом контроле технологического оборудования, которая в адаптированном виде пригодна для использования службой диагностики, службами отдельных производств или цехов, а также ремонтным персоналом.

Основные преимущества платформы *SAFE PLANT*: глобальность, универсальность, масштабируемость, интегрируемость, распределенность, совместимость.

**Глобальность.** *SAFE PLANT* обеспечивает единое информационное пространство для достоверного контроля текущего состояния и своевременного планирования технического обслуживания и ремонта всего парка технологического оборудования. В систему поступают результаты измерений от службы диагностики; данные периодического контроля от соответствующих служб, производств или цехов; объемы работ по техническому обслуживанию и ремонту, по балансировке и выверке. Введенная информация используется отделом планирования при оценке сроков и объемов ремонтных работ, отделом закупок для формирования перечня необходимых деталей и узлов. Руководство предприятия своевременно получает сведения о техническом состоянии оборудования.

Иначе под глобальностью понимается эффективный обмен данными между различными подразделениями предприятия: службой диагностики, производственными подразделениями, ремонтными структурами, отделами главного механика, главного энергетика, главного технолога, отделом снабжения.

**Универсальность.** Пакет программ *SAFE PLANT* позволяет осуществлять взаимодействие информации, полученной с использованием различных видов измерительных систем: виброметров, анализаторов, многоканальных блоков, стендовых комплексов, стационарных систем, а также приборов тепловизионного и иных методов неразрушающего контроля различных производителей. Создается единая база данных для просмотра и совместного анализа результатов измерений всех измерительных систем, включая балансировочные станки, системы центровки, стендовые системы.

**Масштабируемость.** Возможность добавления в пакет программ *SAFE PLANT* новых объектов: технологических позиций, участков, производств, а также новых отраслей промышленности, дополнительных структурных подразделений и предприятий, участвующих в организации обмена данными в рамках единого диагностического пространства. В частности, область применения программ может быть расширена путем включения в нее предприятий целлюлозно-бумажных производств, где функционируют структуры диагностики технологического оборудования. К таким предприятиям можно отнести АО «Соликамскбумпром», АО «Монди Сыктывкарский ЛПК» и ряд других предприятий ЦБП.

**Интегрируемость.** В программном обеспечении *SAFE PLANT* организовано гибкое взаимодействие с внешними аппаратными и программными системами, такими как системы АСУТП, EAM/ERP/SCADA системы. Предусмотрен импорт необходимой информации из АСУТП или SCADA в единую базу данных, а также экспорт результатов диагностики оборудования с перечнем узлов для замены в ремонтные модули EAM/ERP систем.

Платформа *SAFE PLANT* имеет весь необходимый функционал для построения эффективной общезаводской системы контроля состояния всего парка технологического оборудования с целью повышения надежности его эксплуатации и организации эффективной стратегии обслуживания и ремонта.

### Список литературы

1. Сушко А.Е. практические аспекты внедрения системы вибрационной диагностики в условиях современных промышленных производств// Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – 2007. - №4. – С.24-30.

2. Сушко А.Е., Грибанов В.А. Проблемы оценки технического состояния динамического оборудования опасных производственных объектов//безопасность труда в промышленности. – 2011. - №10. – С.58-65.

3. Беклемишев А.В., Сушко А.Е. и др. Четвертая промышленная революция в сфере ТОиР на ПАО «Уралмаш»// Prostoev.NET. – 2006. - №4. - С.4-19.

---

УДК 676+678

**ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ  
ЦЕЛЛЮЗНО-БУМАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

**Буторин Сергей Михайлович,  
исполнительный директор, ООО НПП «Уником-Сервис»,  
г. Первоуральск, E-mail: [sbutorin@unikom-service.ru](mailto:sbutorin@unikom-service.ru)**

**Ключевые слова:** полимерные материалы, бумагоделательные машины, привод, покрытие валов.

**Аннотация.** В работе обобщается опыт ООО НПП «Уником-Сервис» по применению полиуретана в оборудовании ЦБП.

**THE USING POLYMERIC MATERIALS IN THE TECHNICAL  
OPERATION OF THE EQUIPMENT PULP AND PAPER  
PRODUCTIONS'**

**Butorin Sergey Mikhailovich,  
executive Director, the RAPE "UNIKOM-SERVICE", Ltd.,  
Pervouralsk, E-mail: [sbutorin@unikom-service.ru](mailto:sbutorin@unikom-service.ru)**

**Key words:** polymeric materials, paper machines, drive, coating shafts.

**Abstract.** The article generalizes the experience the RAPE "UNIKOM-SERVICE", Ltd. for the application of polyurethane equipment in the pulp and paper industry.

Изделия из полиуретана используются во многих отраслях промышленности. Это полиуретановые уплотнения для гидравлики и пневматики, гуммированные полиуретаном валы, футерованные трубы, очистные скребки и цельнолитые поршни для нефтегазопроводов, отбойные устройства для гидротехнических сооружений, детали узлов для железнодорожного транспорта и тяжелого машиностроения, нестандартные цельнолитые детали сложной геометрии и др. [1].

Ведущим производителем изделий из полиуретана на российском рынке является научно-производственное предприятие «Уником-Сервис». Предприятие выпускает более 2000 видов изделий для различных отраслей российской промышленности.

Полиуретан обладает уникальными свойствами:

высоким сопротивлением разрыву и выносливостью при многократном периодическом нагружении;

низким коэффициентом трения, высокой износостойкостью при трении;

хорошими демпфирующими свойствами и устойчивостью к ударным воздействиям;

сохранением модуля упругости при низких температурах;

стойкостью к воздействию воды, масел, микроорганизмов.

Широкое применение полиуретановые изделия нашли и в целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) [2]. НПП «Уником-Сервис» имеет многолетний опыт покрытия полиуретаном рабочих поверхностей валов бумагоделательных и отделочных машин, изготовления конструктивных элементов муфт приводов секций бумагоделательных машин, а также демпферов и виброизоляторов.

Базовые технологические системы для производства бумаги и картона – бумагоделательные и картоноделательные машины (далее БМ), отделочные машины (продольно-резательные станки, суперкаландры) имеют сотни валов и цилиндров. Рабочие поверхности большинства валов имеют полимерные покрытия. В последние годы в качестве полимерных покрытий широко используется полиуретан.

Для покрытия поверхностей валов полиуретаном НПП «Уником-Сервис» использует метод ротационного литья. Для покрытия полиуретаном валов формирующих частей БМ: грудных, сетководущих и сеткоповоротных используется полиуретан твердостью от 95 единиц по Шору А до 90 единиц по Шору D. Покрытие имеет превосходную износостойкость и достаточную гладкость. Поверхность покрытия не изнашивает сетку, коэффициент трения сетки и покрытия валов позволяет использовать современные полимерные сетки.

Наиболее изнашиваемые рабочие поверхности имеют валы прессовых частей БМ: сукноведущие, отсасывающие, прижимные.

Для предотвращения изнашивания рабочих поверхностей валов и прессовых сукон сукноведущие валы покрывают полиуретаном твердостью от 95 единиц по Шору А до 90 единиц по Шору D.

Отсасывающие прессовые валы, а также валы желобчатые и с глуховерленными отверстиями, в зависимости от величины давления в захвате пресса, покрывают полиуретаном твердостью от 60 до 90 единиц по Шору А. Для покрытия используется специально подготовленный вязкий износостойкий полиуретан.

Прижимные валы прессов, имеющие контакт с прессуемым бумажным полотном высокой влажности, покрывают полиуретаном твердостью от 95 единиц по Шору А до 90 единиц по Шору D с высокой износостойкостью, низким внутренним тепловыделением, стойкостью к гидролизу.

Для клеильных прессов БМ применяется полиуретан твердостью от 90 единиц по Шору А до 75 единиц по Шору D, обладающий высокой износостойкостью, стойкостью к химикатам, низкой остаточной деформацией и предотвращающий налипание.

Предприятие имеет опыт применения полиуретана для каландров БМ и суперкаландров взамен набивных валов. Твердость полиуретана до 90 единиц по Шору D, покрытие имеет высокое сопротивление разрыву, обладает ударопрочностью и способностью выдерживать высокие нагрузки.

Следует отметить, что покрытие валов БМ полиуретаном производят несколько зарубежных фирм: VAANTO Roll Service OY, Voith, Stowe Woodward Finland и др. ООО НПП «Уником-Сервис» вполне конкурентоспособно с этими фирмами.

В настоящее время на Предприятии покрываются полиуретаном валы диаметром до 2000 мм и длиной 8000 мм. При этом обеспечивается высокая адгезия с наносимой поверхностью, возможность нанесения многослойных покрытий с разной твердостью, однородность покрытия. Не требуется изготовление литьевой оснастки.

В приводах технологических агрегатов ЦБП мощностью от нескольких киловатт до нескольких тысяч используются муфты различной конструкции. В приводах БМ установлено несколько десятков муфт. Муфты нередко являются основным источником колебаний привода и конструкций оборудования. Выпускаемые ООО НПП «Уником-Сервис» упруго-демпфирующие муфты с полиуретановыми упругими элементами являются решением проблемы виброзащиты оборудования.

Полиуретановые конструктивные элементы уменьшают собственные частоты колебаний конструкций.



Учитывая, что батареи валов прессов и каландров, элементы привода БМ колеблются в жестком режиме, снижение собственной частоты колебаний может привести к увеличению колебаний оборудования.

Поэтому рекомендуется при выполнении заказа на покрытие полиуретаном валов прессов и каландров скоростных БМ определять динамические характеристики батарей прессов и каландров до модернизации экспериментально и до покрытия валов расчетом. Аналогично можно поступать при установке в приводе БМ муфт с упруго-демпфирующими полиуретановыми элементами.

Предприятие имеет почти 20-летний опыт работы с полиуретановыми материалами, оснащено современным специализированным и механическим оборудованием, что позволяет производить не только покрытие валов полиуретаном, но и финишную обработку изделия, включая балансировку.

На Предприятии сосредоточены механическая обработка металла и полиуретановых изделий, все основные технологии переработки полиуретана: свободное литье в форму, термопластическое литье под давлением, ротационное литье, напыление эластомерных покрытий. Предприятие имеет собственные запатентованные разработки, в том числе уникальный материал торговой марки УНИКСПУР.

Для обеспечения высокого научно-технического уровня производимой продукции на Предприятии работает научная лаборатория, решающая следующие задачи:

- многоступенчатый контроль всех стадий использования изделий из полиуретана на БМ;
- определение физико-механических показателей полиуретана на стенде *JNSTRON*;
- моделирование условий работы изделия из полиуретана на конкретном участке, например, в захвате пресса;
- определение стойкости полиуретана к воздействию жидких агрессивных сред, к старению и остаточным деформациям при статической деформации сжатия;
- определение прочности связи полиуретана с металлом при отрыве-адгезии с металлом;
- трибологические свойства полиуретана, стойкость материала к абразивному износу;
- определение гидроксильного числа.

Команда высококвалифицированных технических специалистов позволяет осуществлять комплексный подход: научные исследования – разработка – испытание – изготовление – поставка и, при необходимости, решение научно-технических задач.

### Список литературы

1. Пугачев Н.В. Опыт производства изделий из полиуретана в НПП «Уником-Сервис»// Вибродиагностика, триботехника. Вибрация и шум: монографический сборник/ Под ред. А.А. Санникова, Н.В. Куцубиной. – Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – С. 357-360.
2. Буторин С.М., Воронцов С.В. Обоснование применения полиуретановых изделий и покрытий валов бумагоделательных и отделочных машин// Вибродиагностика, триботехника. Вибрация и шум: монографический сборник/ Под ред. А.А. Санникова, Н.В. Куцубиной. – Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – С. 360-367.

УДК 621.797

## ВТОРУЮ ЖИЗНЬ ГРАНИТНОМУ ПРЕССОВОМУ ВАЛУ

Ягуткин Валентин Анатольевич,  
канд. техн. наук,  
директор, ООО «Торгово-производственная компания «Уралбумага»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [bumdvor@k66.ru](mailto:bumdvor@k66.ru)

Илюшин Владимир Владимирович,  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [vv\\_asp@mail.ru](mailto:vv_asp@mail.ru)

Тютнев Александр Алексеевич,  
главный механик, ОАО «Новолялинский ЦБК»,  
г. Новая Ляля, E-mail: [cbk@mail.ur.ru](mailto:cbk@mail.ur.ru)

**Ключевые слова:** ремонт, гранитный вал, цапфа, охлаждение в азоте.

**Аннотация.** Разработан и реализован метод ремонтного восстановления гранитных прессовых валов с поломками цапф, используемых на бумагоделательных машинах в целлюлозно-бумажном производстве.

## SECOND LIFE TO THE GRANITE PRESS SHAFT

Yagutkin Valentin Anatolyevich,  
Ph.D. of Engineering Sciences,  
Director, LLC Uralbumaga Trade Production Company,  
Yekaterinburg, E-mail: [bumdvor@k66.ru](mailto:bumdvor@k66.ru)

Ilyushin Vladimir Vladimirovich,  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [vv\\_asp@mail.ru](mailto:vv_asp@mail.ru)

Tyutnev Alexander Alekseyevich,  
chief mechanical engineer, JSC Novolyalinsky Pulp and Paper Mill,  
s. New Lyalya, E-mail: [cbk@mail.ur.ru](mailto:cbk@mail.ur.ru)

**Key words:** Repair, granite shaft, pin, cooling in nitrogen.

**Abstract.** The method of repair recovery of granite press shaft with breakdowns of the pins used on papermaking machines in cellulose and paper industry is developed and implemented.

В целлюлозно-бумажной отрасли на многих бумагоделательных машинах в прессовой части традиционно используют гранитные валы, обеспечивающие технологические требования при изготовлении бумаги. Такие валы Ø 600 мм и длиной  $L = 4000$  мм, работающие на тихоходных машинах ( $v = 200$  м/мин), имеют массу около 4 тонн. Срок службы валов до списания иногда достигает нескольких десятков лет и определяется состоянием поверхностного слоя гранитной рубашки, а также целостностью цапф. При исследовании их эксплуатационного состояния выявлено, что вследствие концентрации внутренних напряжений и усталостного износа металла на поверхности галтели цапфы зарождается трещина (рис. 1). Начальный момент ее образования обнаружить не всегда удается и практически невозможно диагностировать.

Развитие трещины во времени при дальнейшей эксплуатации вала непредсказуемо и, если не выполнена своевременная замена вала, то последствия, в том числе поломка (среза-

ние) цапфы могут привести к аварийному останову бумагоделательной машины с серьезными экономическими потерями.

Традиционно считалось производителями, что гранитные валы с трещинами на цапфах и с оторванными цапфами неремонтопригодны и, соответственно, заменялись новыми<sup>1</sup>. Однако, при ограниченном резервном фонде на предприятиях отрасли и отсутствии отечественного производства гранитных валов, покупка их за рубежом обходится довольно дорого.

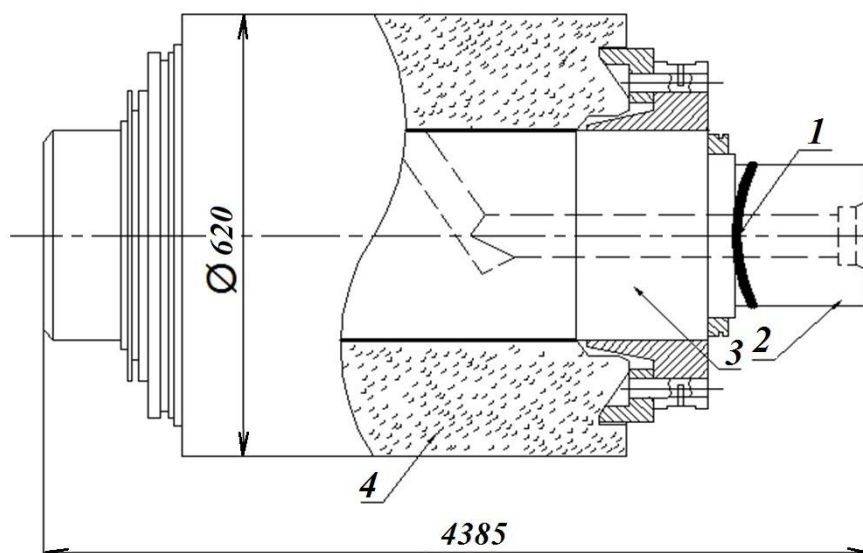


Рис. 1. Вал прессовый гранитный: 1 - место среза цапфы, 2 - срезанная часть цапфы, 3 - сердечник, 4 - рубашка гранитная

Актуальность вопроса ремонтного восстановления гранитных валов с подобного рода дефектами возникла на Новолялинском ЦБК, где два вала готовились к списанию. По согласованию с руководством ЦБК нами было принято решение вернуть эти валы с оторванными цапфами в рабочее состояние.

Ремонт производился на промышленном предприятии с использованием соответствующего технологического оборудования. Идея ремонтного восстановления гранитного вала заключалась в замене срезанной части цапфы на новую цапфу с обеспечением необходимых размеров и эксплуатационных требований, в т. ч. надежности, точности геометрических параметров и взаимного расположения с рабочей поверхностью гранитной рубашки.

С этой целью предварительно проведена конструкторско-технологическая подготовка предполагаемого ремонта. Конструкция цапфы представлялась такой, как показано на рис. 2, где левую часть ее нужно было соединить с металлическим сердечником вала, а правая должна соответствовать оригиналу, т.е. срезанной части цапфы.

Согласно заранее разработанному технологическому процессу на валу были определены удобные технологические базы, позволяющие установить его на токарный станок для последующей обработки с надлежащей точностью. На этой операции необходимо было в месте среза цапфы подрезать торец сердечника, рассверлить и расточить имеющееся в нем отверстие до расчетных размеров по диаметру и длине.

<sup>1</sup> В отечественной практике известен единичный случай ремонтного восстановления гранитного вала с трещинообразованием на цапфе методом наплавки по специальной технологии, но вал не был принят в эксплуатацию из-за опасения поломки цапфы.

Затем из круглого стального проката на токарном станке изготовили цапфу, левая присоединительная сторона которой имела размеры, позволяющие получить неподвижную посадку в отверстие сердечника. Расчет посадки с натягом в этом соединении производился с учетом внешних нагрузок на вал и присоединительных размеров по известной методике [1]. Правая сторона цапфы обрабатывалась с припуском под окончательное обтачивание после сборки с валом.

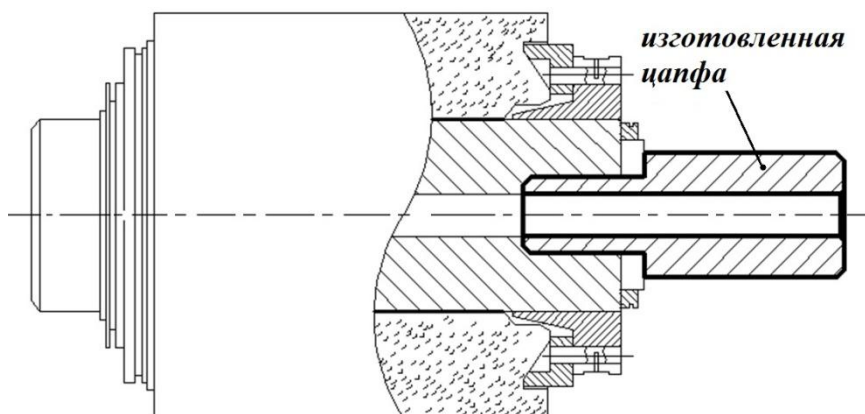


Рис. 2. Вал гранитный после восстановления

Наиболее ответственным этапом ремонта оказался процесс сборки цапфы с валом. Во избежание повреждения гранитной рубашки при высокой хрупкости и низкой прочности гранита, сборка осуществлялась методом поперечно-прессового соединения. Присоединительную часть цапфы охладили в жидком азоте до температуры, позволяющей уменьшить ее диаметр и легко без осевого усилия, установить цапфу в отверстие сердечника вала.

Через несколько часов после восстановления нормальной температуры в соединении получен гарантированный натяг, после чего произведена окончательная обработка хвостовой части цапфы с требуемыми размерами. После сборки вала с подшипниковыми опорами, и монтаже на бумагоделательной машине радиальное биение гранитной рабочей поверхности вала оказалось при контроле в допустимых пределах.

Выполненный таким методом ремонт двух гранитных валов со срезанными цапфами для бумагоделательных машин ОАО «Новолялинский ЦБК» позволяет осуществлять их надежную эксплуатацию уже более пяти лет без каких-либо замечаний по техническому состоянию.

Материальные затраты на ремонтные работы были ничтожно малы по сравнению с приобретением новых валов.

Предложенный метод ремонтного восстановления гранитных прессовых валов, в том числе с наличием трещин на поверхности цапф, может быть рекомендован для практического использования на предприятиях бумажной промышленности.

### Список литературы

1. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.

УДК 621.78

**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ  
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА**

**Шустов Александр Валентинович,  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [al.v.shustov@mail.ru](mailto:al.v.shustov@mail.ru)**

**Ключевые слова:** Термообработка, закалка, цементация, охлаждающие среды, обработка холодом.

**Аннотация.** Рассмотрены современные технологии объемной термической обработки, закалки токами высокой частоты, синтетические охлаждающие среды, цементация для деталей в ремонтном производстве ЦБК. Предложена обработка холодом для инструментальных сталей.

**APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES OF  
THERMAL PROCESSING IN REPAIR PRODUCTION  
AT THE ENTERPRISES OF A FOREST COMPLEX**

**Shustov Alexander Valentinovich,  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [al.v.shustov@mail.ru](mailto:al.v.shustov@mail.ru)**

**Key words:** Heat treatment, quenching, cementation, cooling media, cold treatment.

**Abstract.** Deals with modern technology of bulk heat treatment, quenching high-frequency currents, a synthetic cooling environment, the cementation of parts in repair and the production of pulp and paper mill. Cold treatment for tool steels is proposed.

В ремонтно-механических подразделениях крупных целлюлозно-бумажных комбинатов широко применяются выплавка черных и цветных сплавов, технология литейного производства и обработка давлением, механическая обработка. Для получения заданных свойств заготовок, деталей, запасных частей применяется технология термической и химико-термической обработки. Кафедра технологии металлов УГЛТУ имеет многолетний опыт сотрудничества по вопросам термообработки с Кондопожским и Сегежским ЦБК, АО «Соликамскбумпром», АО «Монди Сыктывкарский ЛПК», крупнейшими комбинатами в Архангельской (г. Коряжма), Иркутской (г. Братск и г. Усть-Илимск), входящих в состав Группы «Илим».

На термических участках ремонтно-механических цехов комбинатов в основном широко используется для закалки деталей из чугунов, сталей и цветных сплавов после объемного нагрева в электропечах простейший способ охлаждения погружением в закалочный бак [1].

В качестве охлаждающих жидкостей используются для легированных сталей минеральные масла типа индустриального И-20А, а для углеродистых сталей вода в закалочных водоохлаждаемых баках с циркуляцией. В современных условиях ввиду повышенной пожароопасности предприятий лесной отрасли, а также экологии целесообразно использовать синтетические закалочные среды на основе полимерных соединений. Могут быть рекомендованы достаточно широко применяемые за рубежом и в отечественной промышленности следующие синтетические среды: «Юкон» (США), Акваквенч (США, Германия), ПК-2, УЗСП-1, ВП-3 (Россия) [1,2].

Их использование позволяет заменить для некоторых сталей охлаждение в масле, обеспечить изменение скорости охлаждения в мартенситном интервале температур между водой и маслом, устранить санитарно-гигиенические недостатки при работе с маслом, снизить себестоимость термической обработки.

Объемной закалке в воде, масле и синтетических средах может подвергаться широкая номенклатура деталей и запасных частей, используемых в ремонтном производстве: колеса зубчатые, звездочки, валы, втулки, шестерни, червяки, валы шлицевые, вал-шестерни из сталей 35, 40, 45, 40X, 40XH, пружины из стали 60С2, ножи из сталей У8, 8ХФ и другие.

На некоторых ЦБК (Усть-Илимск, Соликамск) применялись установки для поверхностной закалки токами высокой частоты с охлаждением в воде. Закалка ТВЧ для среднеуглеродистых сталей за счет аустенизации поверхностного слоя детали с последующим переходом в мартенсит обеспечивает высокую поверхностную твердость, износостойкость и ударную вязкость. Достоинствами данного метода являются возможность местного упрочнения детали, небольшая продолжительность процесса, незначительное обезуглероживание и окисление поверхности изделий, незначительная деформация деталей, меньшее потребление энергии и экологические преимущества.

Недостатки метода заключаются в ограничениях по геометрии деталей, индивидуальной разработки индуктора и способа охлаждения на каждую деталь. При закалке ТВЧ предпочтительнее вместо объемного охлаждения в баке использовать спрейерные охлаждающие устройства. Данное оборудование термической обработки часто используется для тел вращения: валы, шестерни, звездочки [1, 3, 4].

На предприятиях лесного комплекса помимо термообработки может применяться технология и оборудование химико-термической обработки для увеличения срока службы деталей, работающих на износ, за счет повышения твердости поверхностного слоя с сохранением достаточно пластичной сердцевины с высокой ударной вязкостью. Среди всех видов ХТО: азотирование, борирование, нитроцементация, карбонитрирование [1, 5], проще всего технология и оборудование для цементации. Она не требует дорогих материалов и больших финансовых затрат и была опробована на Кондопожском и Усть-Илимском ЦБК сотрудниками кафедры технологии металлов.

Суть цементации заключается в насыщении тонкого поверхностного слоя детали углеродом в печи с последующей закалкой и низким отпускком. Газовая цементация требует дорогостоящих герметичных газовых печей с атмосферой аммиака и не может быть рекомендована для предприятий лесной промышленности. Была рекомендована технология цементации в твердом карбюризаторе. При этом способе нагрев проводится в обычных камерных муфельных электропечах, которые имеются на термических участках. В качестве карбюризатора используется обычный гостовский древесный уголь. Цементации могут подвергаться детали из малоуглеродистых сталей 15, 20, а для более ответственных деталей из низколегированных сталей марок 20X, 20XH2M, которые применяются в лесной отрасли. Для вал-шестерни редуктора из стали 20XH2M бумагоделательной машины после цементации в древесном угле можно получить твердость на поверхности HRC60...62 и высокую износостойкость детали при работе редуктора.

В ремонтном производстве часто требуется изготовление деталей из высокоуглеродистых сталей с повышенными режущими свойствами: различные ножи из сталей типа У8, ХВГ, 8ХФ, 9ХФ и даже металлорежущий инструмент из быстрорежущих сталей Р6М5, Р9, Р18, например, различные резцы, включая отрезные для заготовок больших размеров.

Для повышения режущих свойств инструмента за счет термической обработки помимо обычной закалки и низкого отпуска целесообразно использовать специальную обработку стали холодом. Это позволяет повысить твердость по Роквеллу на 10-12 единиц, увеличивает срок службы деталей и инструмента и повышает точность изготовления деталей. Можно получить на поверхности HRC69...71.

Обычная закалка стали P18 от 1260 – 1280 градусов в масле и даже 2-3 кратный отпуск при 550 – 570 градусах с охлаждением на воздухе обеспечивает HRC60-62.

Повышение твердости при обработке холодом обеспечивается уменьшением количества остаточного аустенита. Практически весь аустенит переходит в мартенсит. В термических цехах крупных машиностроительных предприятий для обработки холодом применяют различное оборудование: испарительные установки, вихревые холодильные установки [1, 5]. На термических участках ЦБК можно использовать испарительные установки незамкнутого типа на жидком азоте, дающие температуру до минус 170 градусов Цельсия [1].

Заключение. На предприятиях лесного комплекса для получения требуемых свойств заготовок и деталей можно широко использовать современные технологии объемной термической обработки, закалки токами высокой частоты, применять химико-термическую обработку, синтетические охлаждающие среды обработку холодом для высокоуглеродистых сталей.

### Список литературы

1. Эйсмонт Ю.Г. Оборудование термических цехов. В 3 т. Том 1. Основное термическое оборудование. Екатеринбург: УРФУ, 2015. 257 с.
2. Горюшин В.В. О применении синтетических закалочных сред // МиТОМ. 1991, №4. С.10-14.
3. Ляпунов А.И. Оборудование термических цехов. М.: Гуманитарный центр «Монолит», 2002. 308 с.
4. Steel and Its Heat Treatment. Swerea IVF, 2012, 832 p.
5. Totten G.E. Steel Heat Treatment. Metallurgy and Technologies. Taylor and Francis Group, 2006. 820 p.

---

УДК 676.056

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБЧАТЫХ ВАЛОВ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

**Пантелеев Виктор Николаевич,**  
магистрант, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
гг. Екатеринбург- Соликамск, E-mail: [vitya.panteleev.72@mail.ru](mailto:vitya.panteleev.72@mail.ru)

**Куцубина Нелли Валерьевна,**  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [Nelly3416@mail.ru](mailto:Nelly3416@mail.ru)

**Ключевые слова:** бумагоделательные машины, трубчатые валы, прессовые соединения, диагностика технического состояния.

**Аннотация.** В статье рассматриваются теоретические основы нагруженности и напряженного состояния прессовых соединений в трубчатых валах, приводится методика определения напряженного состояния деталей в прессовом соединении, методика и результаты диагностики технического состояния прессовых соединений трубчатых валов.



## THE IMPROVED TECHNICAL OPERATION TUBULAR SHAFTS OF PAPER-MAKING MACHINES

**Panteleev Viktor Nikolaevich,**  
master student, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg-Solikamsk, E-mail: [vitya.panteleev.72@mail.ru](mailto:vitya.panteleev.72@mail.ru)

**Kutsubina Nelli Valeryevna,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [Nelly3416@mail.ru](mailto:Nelly3416@mail.ru)

**Key words:** *paper machines, tubular shafts, press connections, technical condition diagnostics.*

**Abstract.** *The article discusses the theoretical basis of the load and stress state of the press connections in the tubular shafts, provides a method for determining the stress state of the parts in the press connection, the technique and the results of the diagnosis of the technical state of the press connections of the tubular shafts.*

Бумагоделательные машины имеют различные назначения, параметры, конструктивное исполнение, но все они являются агрегатами с множеством валов, большинство из которых – трубчатые. К трубчатым валам относятся сетко-, сукно-, бумаговедущие, тамбурные валы, многие валы отделочных машин. Конструкции таких валов подобны. Они выполняются в виде трубы, в которую запрессованы с обеих сторон патроны. В патроны запрессованы цапфы. Качество запрессовки определяется заданным натягом.

Расчетная величина натяга (допуски на вал и отверстие соединений) определяется по величине нагрузки, передаваемой соединением (поперечной силой, изгибающего и крутящего моментов) фактическая величина натяга может отличаться от расчетного значения из-за изменения формы и шероховатости посадочных поверхностей, развальцовки посадочных мест при нарушении технологии сборки.

В процессе длительной эксплуатации валов, совершивших миллиарды циклов нагружения, прессовые соединения ослабевают из-за релаксации напряжений и снятия микровыступов на поверхностях контакта сопрягаемых деталей. Известны случаи «выпадения» цапф при демонтаже валов. При ослабленной цапфе понижаются собственные частоты колебаний валов, приближая их к частотам вращения валов. Параметры колебаний валов возрастают, приближаясь к резонансным колебаниям. Возникает необходимость диагностики ослаблений, а при ремонте – восстановление необходимых посадок.

В трубчатых валах БМ применяются двухпрессовые соединения: «цапфы и патрон» и «патрон и рубашка вала». Взаимосвязь двухпрессовых соединений исследовал Ю.В. Турыгин и его ученики [1].

Одновременное ослабление соединений «цапфы - патрон» и «патрон – рубашка» маловероятно. Чаще возникает ослабление соединения «цапфа – патрон». Для целей диагностики целесообразно рассмотреть ослабление посадок патрона и рубашки вала, цапфы и патрона отдельно.

Рассмотрим методику диагностики ослаблений посадок в трубчатых валах на примере посадки цапфы в патрон. Сборка таких соединений осуществляется запрессовкой, с использованием температурного деформирования – нагревания охватываемой или охлаждения охватываемой детали. На предприятиях в ремонтной практике чаще используется запрессовка или охлаждение цапфы.

При прессовой горячей или холодной посадке цапфы в патрон на поверхности их контакта возникают контактные давления  $p_k$ , определяемые по формуле [1]:

$$p_k = \frac{\delta / d}{\frac{1}{E_1} \left( \frac{1+k_1^2}{1-k_1^2} - \nu_1 \right) + \frac{1}{E_2} \left( \frac{1+k_2^2}{1-k_2^2} + \nu_2 \right)}, \quad (1)$$

где  $\delta$  – величина натяга, м;

$K_1 = d_1 / d$  и  $K_2 = d / d_2$ ;

$d$  – диаметр посадочной поверхности, м (рис. 1);

$d_1$  – внутренний диаметр цапфы (при наличии в цапфе осевого отверстия), м;

$d_2$  – наружный диаметр патрона, м;

$d_3$  – наружный диаметр цилиндра, м;

$E_1; E_2$  – модули упругости материала цапфы и патрона. Для стали  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па; для чугуна  $E = 1,2 \cdot 10^{11}$  Па;

$\nu_1; \nu_2$  – коэффициенты Пуассона материалов цапфы и патрона. Для стали  $\nu = 0,3$ , для чугуна  $\nu = 0,25$ .

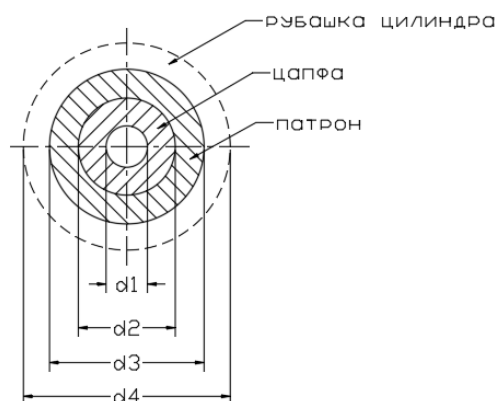


Рис.1. Сечение по цапфе и патрону

Большинство трубчатых валов имеет цапфы без отверстий, т.е.  $d_1 = 0$ , а, следовательно,  $K_1 = 0$ , уравнение (1) приобретает вид

$$p_k = \frac{\delta / d}{\frac{1}{E_1} (1 + \nu_1) + \frac{1}{E_2} \left( \frac{1+k_2^2}{1-k_2^2} + \nu_2 \right)}. \quad (2)$$

По контактному давлению  $p_k$  можно определить усилие запрессовки цапфы в патрон по формуле

$$F = \pi d l p_k f, \quad (3)$$

где  $l$  – длина зоны прессования;

$f$  – коэффициент сцепления для стальных и чугунных деталей при запрессовке,

$f = 0,08 \dots 0,10$ , при сборке с нагревом или охлаждением  $f = 0,12 \dots 0,14$ .

Наоборот, по усилию запрессовки можно выявить и оценить контактное давление в прессовом соединении, иначе на ранней стадии осуществить диагностику прессового соединения

$$p_k = \frac{f}{\pi d l f} \geq [p_k]. \quad (4)$$

Как уже отмечалось прочность, долговечность и работоспособность валов БМ определяются достаточной жесткостью сопрягаемых деталей, снижением уровнем вибрации. Жесткость валов характеризуется собственной жесткостью деталей и контактной жесткостью, определяемой деформациями в местах сопряжения деталей.

Распространенность соединений с натягом обуславливается простой конструкцией, высокой технологичностью и надежностью. Долговечность прессовых соединений зависит от многих факторов: величины натяга; шероховатости поверхностей сопрягаемых деталей; погрешности форм деталей; геометрических параметров охватывающей и охватываемой детали (толщины стенки и длины посадочной поверхности); точности сборки; метода осуществления посадки; термообработки материала деталей [2,3].

Значительное повышение скоростей БМ, жесткие требования к условиям их эксплуатации, а также множество перечисленных выше факторов, влияющих на надежность прессовых соединений, вызывают необходимость диагностики прессовых соединений. Диагностика по усилию запрессовки цапфы рассмотрена ранее.

Обычно диагностирование валов осуществляют по изменению интенсивности и частотного состава колебаний на определенных частотах. Таким образом, диагностируются подшипника качения [4]. По интенсивным колебаниям вала на гармониках оборотной частоты выявляется трещина в рубашке вала. Несомненно, что слабина в прессовых соединениях цапфы и патрона, патрона и рубашки приводит к снижению частоты собственных колебаний вала и усилению гармоник оборотной частоты. Но эти изменения трудно уловимы при работающей БМ из-за множества источников вибрации, воздействующих на вал.

При неработающей машине слабина в прессовом соединении определяется по частоте собственных колебаний вала, возбуждаемой «мягким» ударом по валу. При отсутствии ослабления колебания вала медленно затухают (рис.2а). При наличии слабину затухают быстро (рис.2б).

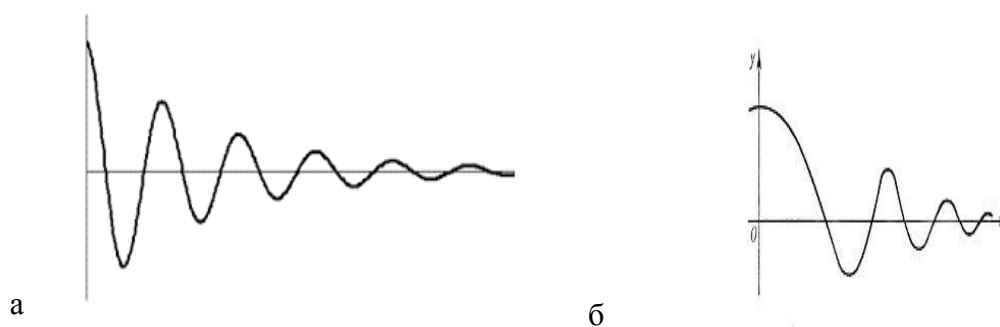


Рис. 2. Затухающие колебания вала, возбуждаемые ударом: ослабление посадки отсутствуют (а); при наличии ослаблений (б)

Более четко проявляются частота собственных колебаний и декремент колебаний при снятом валу. Схема возбуждения колебаний вала ударом по цапфе приведена на рис.3.

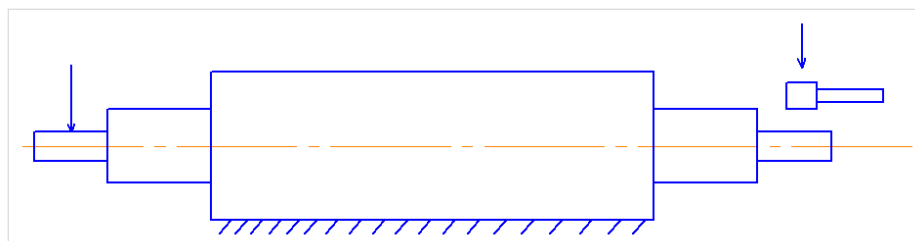


Рис. 3. Схема возбуждения колебаний вала ударом по цапфе

Измерения затухающих колебаний валов после удара по цапфе проводились после замены цапф. Запрессовка цапфы в патрон вала производилась при помощи гидроцилиндра при давлении масла  $400 \text{ кг/см}^2$ . Спектры колебаний вала, характеризующие отсутствие ослабления цапф, приведены на рис.4.

Заметим, что приведенные в статье материалы могут быть использованы в ремонтной практике при установке цапфы в крышку сушильных цилиндров, когда цапфа из-за износа и повреждений срезается, и в крышку запрессовывается новая цапфа.

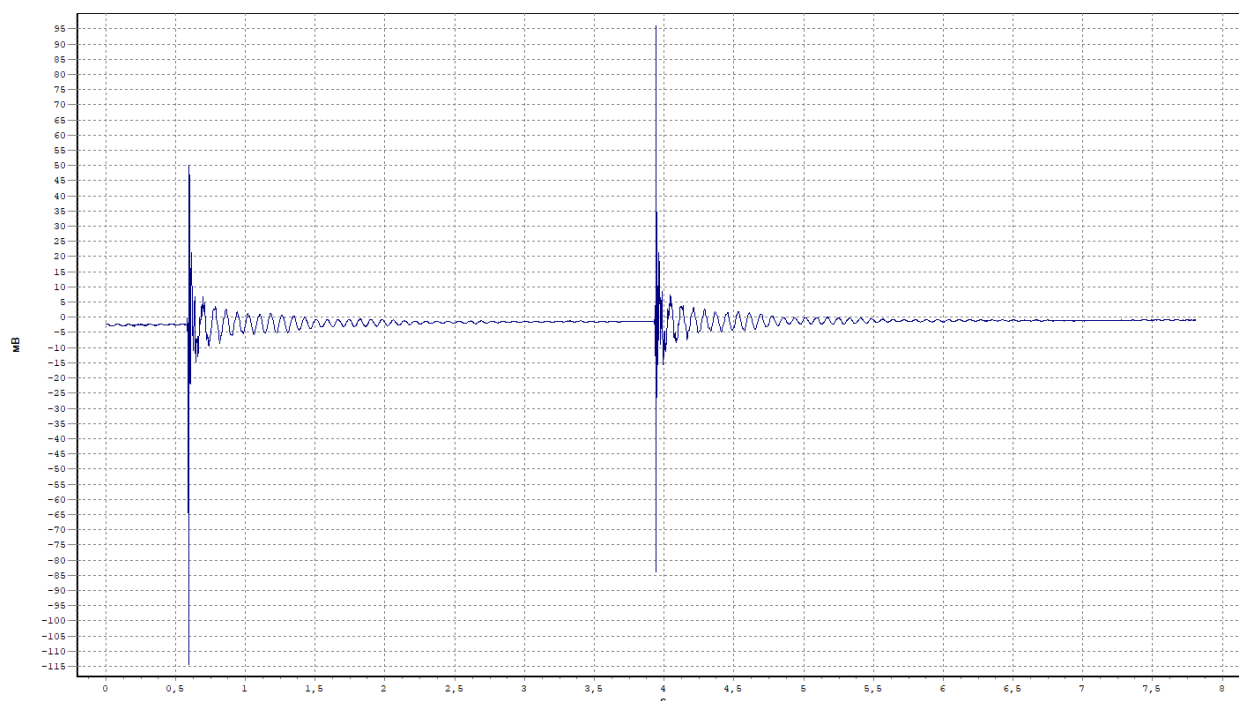


Рис.3. Образцы спектров колебаний вала

Иногда при увеличении нагруженности вала или изношенности цапфы для восстановления ресурса вала на некоторые участки цапфы напрессовываются дополнительные втулки.

Недостатком соединений с натягом является недопустимость даже однократной их перегрузки. Часто в реальных условиях работы статические и динамические нагрузки превышают расчетные значения, происходит относительное микропроскальзывание, возникают ударные воздействия, из-за чего целостность конструкции нарушается, и соединение раньше срока выходит из строя. Кроме того, перемещения в контакте приводят к демпфированию и изменяют частоты собственных колебаний сопрягаемых деталей машин. Исходя из этого, вопросы контактного взаимодействия в трубчатых валах являются актуальными.

Одной из основных тенденций развития техники в настоящее время является широкое применение полимерных материалов для изготовления различных конструкций, обладающих определенными эксплуатационными свойствами, отличающимися от традиционных конструкционных материалов.

Полимерные материалы применяются при создании виброустойчивых конструкций. Соединения с натягом испытывают знакопеременные циклические нагрузки, контакт происходит по отдельным наиболее нагруженным участкам поверхности и подповерхностных слоев. Введение в конструкцию полипрессовых соединений упругого полимерного материала, например полиуретана, позволит избежать контакта типа «металл-металл», тем самым повысить долговечность конструкции.

Использование промежуточного слоя предполагает более равномерное распределение удельных давлений по длине сопряжения за счет внутренней податливости упругого материала.

Обладая определенными упругими свойствами, полимерные элементы в конструкции способны поглощать энергию колебаний. В данном случае рассеивание энергии колебаний деталей и узлов происходит по двум направлениям:

- рассеивание энергии колебаний в материале детали (внутреннее трение);
- рассеивание энергии колебаний в месте контакта сопрягаемых поверхностей деталей (внешнее трение).

Большая часть энергии динамических нагрузок, воспринимаемых прессовым соединением, передается упругому материалу и затем рассеивается внутри самой конструкции.

В итоге в конструкции с поджатым упругим слоем величина напряжений и деформаций в поверхностном и подповерхностном слоях охватываемой металлической детали предположительно меньше, чем при взаимодействии «металл-металл».

## Список литературы

1. Эксплуатационная эффективность бумагоделательных машин и вариативность системы их ремонта : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.21.03 / Ижевский гос. техн. ун-т. - Ижевск, 1998. - 32 с.
2. Прочность, устойчивость, колебания// Справочник в трех томах. –Т.2/ Под редакцией И.А. Биргера и Я.Г. Пановко— М.: Машиностроение, 1968. - 463 с.
3. Осипов Ю.К. Повышение качества прессовых соединений типа «тонкостенная втулка-корпус» //Главный механик.- №5.-2010.- С.50-57.
4. Куцубина Н.В. Теория и практика оценки технического состояния трубчатых валов бумагоделательных машин: монограф./ Н.В. Куцубина.- Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т.- 2016. - 132 с.

---

УДК 676.017

## МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СМАЗКИ ПОДШИПНИКОВ СУШИЛЬНОЙ ЧАСТИ

**Парфенова Виолетта Романовна,**  
студент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [vitaaparf@mail.ru](mailto:vitaaparf@mail.ru)

**Микушина Валентина Николаевна,**  
аспирант, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [mikushina\\_vn\\_ventrauf@mail.ru](mailto:mikushina_vn_ventrauf@mail.ru)

**Сиваков Валерий Павлович,**  
д-р техн. наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [sivakov@usfeu.ru](mailto:sivakov@usfeu.ru)

**Ключевые слова:** сушильный цилиндр, температура, теплопередача, теплоизоляция, торцевые крышки, циркуляционная смазка.

**Аннотация.** Система циркуляционной смазки сушильных цилиндров имеет разветвленную пространственную конструкцию с теплообменником для снижения температуры. При сокращении тепловых потерь при контактной сушке бумаги будет уменьшаться температура распределительных и отводных трубок. Для этого необходимо установить теплоизоляцию торцевых крышек сушильных цилиндров.

# METHOD OF PROVIDING THERMAL REGIME OF THE CIRCULATION LUBRICATION DRYER SECTION

Parfenova Violetta Romanovna,  
student of Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [vita-parf@mail.ru](mailto:vita-parf@mail.ru)

Mikushina Valentina Nikolaevna,  
post-graduate student Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [mikushina\\_vn\\_ventrauf@mail.ru](mailto:mikushina_vn_ventrauf@mail.ru)

Sivakov Valeriy Pavlovich,  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [sivakov@usfeu.ru](mailto:sivakov@usfeu.ru)

**Key words:** drying cylinder, temperature, heat transfer, thermal insulation, end caps, circulating grease.

**Abstract.** The circulating lubrication system of drying cylinders has a branched spatial structure with a heat exchanger to reduce the temperature. With the reduction of heat losses during contact drying of paper will decrease the temperature of the distribution and discharge tubes. For this purpose it is necessary to install thermal insulation of end caps of drying cylinders.

Схема станции системы циркуляционной смазки подшипников сушильной части показана на рис. 1. Бак 1 системы смазки служит резервуаром масла. Он имеет трубопровод 2 возвратной циркуляции масла от коллектора-сборника, два трубопровода 3 отбора масла насосами 4. В верхней части бака под трубопроводом 2 установлена коробчатая фильтр-сетка 3 грубой очистки масла. Масляные насосы 4 служат для подачи масла к подшипниковым опорам цилиндров и валов сушильной части. Насосы установлены в схеме циркуляции масла параллельно. Один из насосов работает, второй находится в резерве. Один из насосов работает, второй находится в резерве.

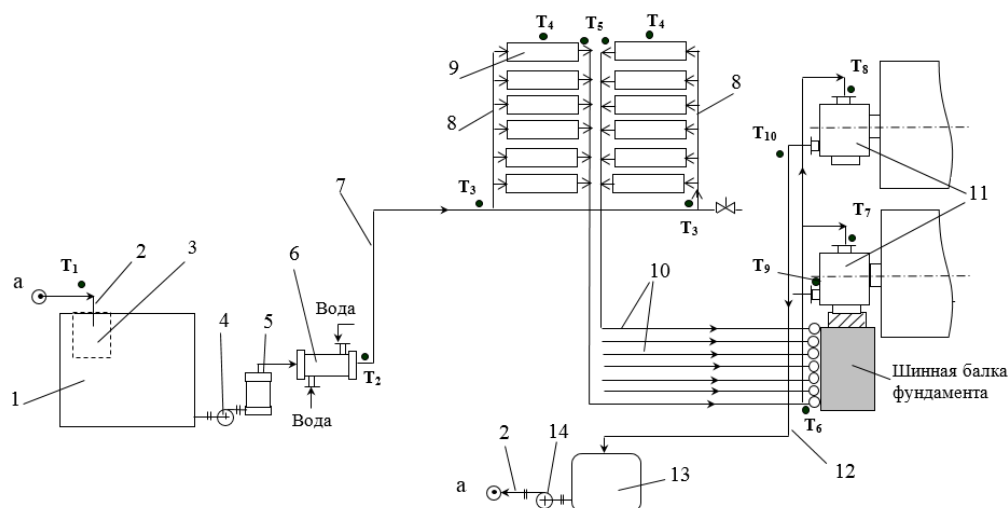


Рис. 1. Схема станции системы циркуляционной смазки подшипников сушильной части:  $T_1, T_2, \dots, T_{10}$  – точки измерения температуры; 1 – бак; 2 – трубопровод возвратной циркуляции масла; 3 – фильтр-сетка; 4 – насос масла; 5 – фильтр; 6 – теплообменник; 7 – трубопровод подачи масла к коллектору; 8 – коллектор ротаметров; 9 – блок ротаметров; 10 – распределительные трубки; 11 – подшипниковые опоры; 12 – трубопровод подачи масла в коллектор-сборник; 13 – коллектор-сборник; 14 – насос возвратной циркуляции

Работающий насос обеспечивает производительность, преодолевает местные сопротивления аппаратов, заборных устройств, отводов трубопроводов, гидравлические сопротивления труб и создает напор масла на входе в корпуса подшипников. Масло из насоса 4 поступает в напорный фильтр 5, где происходит тонкая очистка при давлении 0,2 МПа. Очищенное масло после фильтра поступает в водяной противоточный теплообменник 6, в котором температуру масла увеличивают до 45...50 °С.

От теплообменника по трубопроводу 7 масло перекачивают к двум коллекторам ротаметров 8. В каждом коллекторе ротаметров общий поток масла распределяют между блоками ротаметров. Каждый блок содержит десять ротаметров. Ротаметры имеют индивидуальную регулировку расхода масла. От каждого ротаметра заданный расход масла по распределительным трубкам 10 поступает в корпус подшипниковых опор 11. В подшипниковых опорах масло, опускаясь сверху вниз, разбрызгивается вращающимися частями подшипника, смазывает и охлаждает подшипник. Из нижней части корпуса подшипника масло самотеком поступает по трубопроводу 12 в коллектор-сборник 13. Из коллектора-сборника масло насосом 14 по трубопроводу возвратной циркуляции 2 перекачивают в бак 1 станции.

Система циркуляционной смазки имеет разветвленную пространственную конструкцию. Основное технологическое оборудование системы циркуляционной смазки компактно расположено в четырех точках. Бак, масляные насосы и оборудование очистки расположены ниже нулевой отметки в холодной части здания за стеной зала БМ с приводной стороны. Температурный режим места расположения, способствует охлаждению масла.

Два коллектора ротаметров для приводной и лицевой сторон расположены в зале БМ с приводной и лицевой сторон сушильной части. Коллекторы ротаметров имеют воздушное охлаждение для снижения нагрева от температуры атмосферы зала. Коллектор-сборник и масляный насос установлены в приямке зала БМ.

Разветвленную схему расположения имеют распределительные трубы и трубопроводы, смонтированные на продольных балках фундаментных шин и станинах сушильной части, расположенных в зоне теплоизоляционного колпака. Трубы и трубопроводы подвержены нагреву от атмосферы в зоне теплоизоляционного колпака и от поверхности станин, к которым они присоединены.

Обобщенный график температурного режима составных частей трубопровода подвода масла к подшипниковым опорам цилиндров и валов сушильной части показан на рис. 2.

Из графика видно, что на участках 6-7 (рис. 2,а), 6-8 графика температура распределительных трубок, а, следовательно, и масла возрастает на 43%, (подшипниковые опоры сушильных цилиндров нижнего и верхнего ряда на 50%).

Точки 9 и 10 имеют температуру выше на 6% и 13% по сравнению с точками 7 и 8 соответственно. Возрастание температуры масла на этом участке происходит за счет отвода тепла от подшипников.

Возрастание температур на участках трубопроводов между точкой 6 и точками 9 и 10 характерно для систем смазки подшипников многоцилиндровых сушильных частей. Для снижения температуры масла, подаваемого в корпуса подшипников, обычно охлаждают масло в теплообменнике до 35...40 °С.

Снижение температуры распределительных и отводных трубок происходит также при сокращении тепловых потерь при контактной сушке бумаги. Тепловые потери происходят от поверхности сушильных цилиндров, соприкасающихся с воздухом.

Поверхность сушильного цилиндра определяем по формуле:

$$F = F_{\phi} + F_{\kappa} = \pi DL + \frac{\pi D^2}{2} = \pi \cdot 1,5 \cdot 2,58 + \frac{\pi \cdot 1,5^2}{2} = 15,17 \text{ м}^2, \quad (1)$$

где  $F_{\phi}$  – боковая поверхность цилиндра, м<sup>2</sup>;

$F_{\kappa}$  – боковая поверхность торцовых крышек, м<sup>2</sup>;

$L = 2,58$  м – ширина бумаги на накате;

$D = 1,5$  м – диаметр цилиндра.



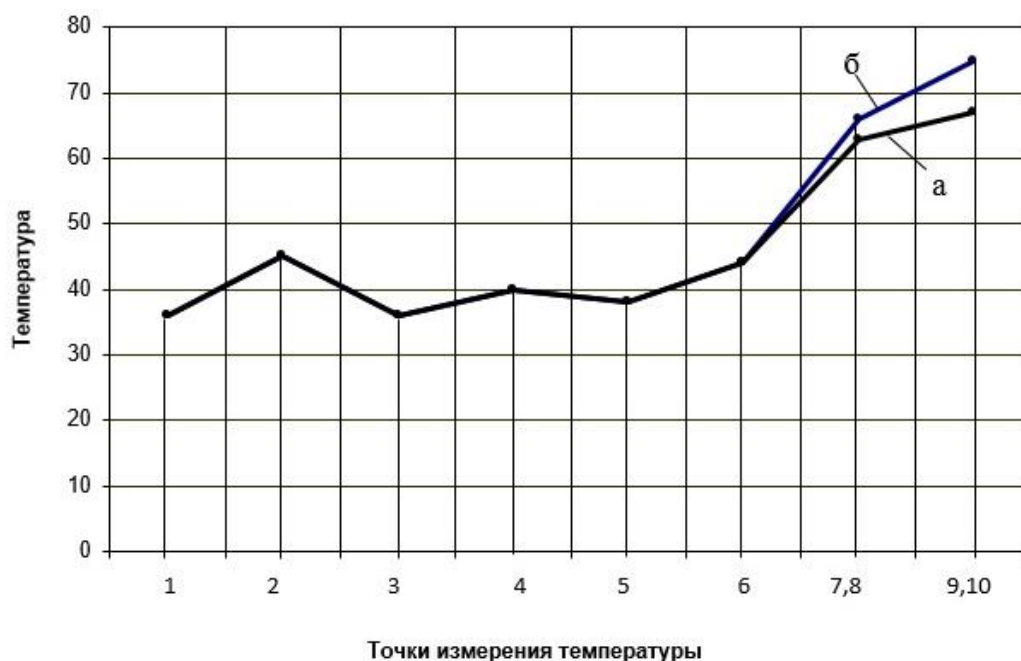


Рис. 2. Графики точек измерения температуры системы подвода масла к подшипникам сушильных цилиндров лицевой стороны 1-й группы по пару нижнего ряда (а) и верхнего ряда (б): 1 – вход в бак; 2 – выход из теплообменника; 3,5 – вход и выход из коллектора ротаметров; 4 – корпус блока ротаметров; 6 – распределительные трубы на фундаментной балке; 7,8 – распределительные трубы на входе в корпуса нижнего и верхнего сушильного цилиндров подшипников, соответственно; 9,10 – отводные трубы на выходе из корпусов нижнего и верхнего сушильного цилиндров подшипников

Поверхность типового сушильного цилиндра  $D=1500$  мм и  $L=2,58$  м, соприкасающегося с воздухом, определяем по формуле [1,2]:

$$F_g = \frac{1-\beta}{\beta} F = \frac{1-0,65}{0,65} \cdot 15,7 = 8,45 \text{ м}^2, \quad (2)$$

где  $\beta = 0,65$  – коэффициент использования поверхности сушильного цилиндра при контактной сушке.

Определяем количества тепла, предаваемого воздуху сушильными цилиндрами для типовой БДМ, вырабатываемой 2000 кг абсолютно сухой бумаги в час [1]. Многоцилиндровая сушильная часть содержит 30 сушильных цилиндров.

Количества тепла, передаваемое воздуху через поверхность сушильных цилиндров  $F_g$  машины  $Q_g=15778,8$  Дж [1].

Количества тепла, передаваемого воздуху через торцевые крышки, определим по формуле:

$$Q_k = \frac{Q_g \cdot F_k}{F_g} = \frac{15778,8}{8,45} = 1867,3, \text{ Дж}. \quad (3)$$

Относительное количества тепла, передаваемого воздуху через торцевые крышки:

$$\Delta Q = \frac{Q_k}{Q_g} = \frac{1867,3}{15778,8} = 0,12 \text{ или } 12\% \quad (4)$$

Коэффициент теплопередачи  $k$  поверхности сушильного цилиндра можно уменьшить теплоизоляцией асбестовым материалом в 2,7 раза, минеральной ватой в 4 раза. Сокращение тепловых потерь при теплоизоляции торцовых крышек пропорционально сокращению поверхности контакта не теплоизолированных крышек с воздухом.

Снижение тепловых потерь от сушильных цилиндров при установке теплоизоляции торцовых крышек определим по формуле:

$$Q_{\kappa c} = \frac{Q_k}{k} = \frac{1867,3}{k} = (466,8...691,6), \text{ Дж} \quad (5)$$

где  $k = 4; 2,7$  – коэффициент снижения теплопередачи после установки теплоизоляции.

После установки теплоизоляции торцовых крышек сушильного цилиндра:

$$\Delta Q_{\kappa c} = \frac{Q_k - Q_{\kappa c}}{Q_k} \cdot 100 = \frac{1867,3 - Q_{\kappa c}}{1867,3} = (75...63)\% \quad (6)$$

Отметим, что теплоизоляция торцовых крышек всех сушильных цилиндров не только снизит температуру масла в системе циркуляционной смазки на входе в подшипниковые опоры, но и сократит расход пара, подаваемого в сушильные цилиндры.

### Список литературы

1. Бушмелев В. А. Процессы и аппараты целлюлозно-бумажного производства : [Учебник для техникумов целлюлозно-бум. пром-сти] / В. А. Бушмелев, Н. С. Вольман. - 2-е изд., испр. и доп. – М.: Лесная пром-сть, 1969. - 408 с.
2. Жучков П.А. Тепловые процессы в целлюлозно - бумажном производстве / П. А. Жучков. - М.: Лесная пром-сть, 1978. - 408 с.

УДК 676.022.62

## ВЛИЯНИЕ МАССЫ И АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ СЫРЬЯ НА СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ВАРОЧНОГО КОТЛА

**Сиваков Валерий Павлович,**

**д-р техн. наук, профессор,**

**ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,**

**г. Екатеринбург, E-mail: [sivakov@usfeu.ru](mailto:sivakov@usfeu.ru)**

**Степанова Евгения Николаевна,**

**аспирант ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,**

**г. Екатеринбург, E-mail: [stepanova\\_usfeu@bk.ru](mailto:stepanova_usfeu@bk.ru)**

**Ключевые слова:** целлюлозно-бумажная промышленность, варка целлюлозы, варочный котел, масса сырья.

**Аннотация.** В статье рассмотрены динамические характеристики варочного котла, которые изменяются в широких пределах в зависимости от массы и агрегатного состояния сырья.

# INFLUENCE OF THE MASS AND THE AGGREGATE STATE OF THE RAW MATERIAL ON THE NATURAL FREQUENCIES OF THE OSCILLATIONS OF THE DIGESTER

Sivakov Valeriy Pavlovich,  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [sivakov@usfeu.ru](mailto:sivakov@usfeu.ru)

Stepanova Evgenia Nikolaevna,  
post-graduate student Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [stepanova\\_usfeu@bk.ru](mailto:stepanova_usfeu@bk.ru)

**Key words:** pulp and paper industry, pulping, a digester, feedstock mass.

**Abstract.** In the article dynamic characteristics of the digester are considered, which vary widely depending on the mass and the aggregate state of the raw material.

Масса обрабатываемого в ВК сырья изменяется за цикл варки. Графики изменения массы и низшей собственной частоты колебаний варочного котла КВСи-320 за цикл варки приведены на рис. 1.

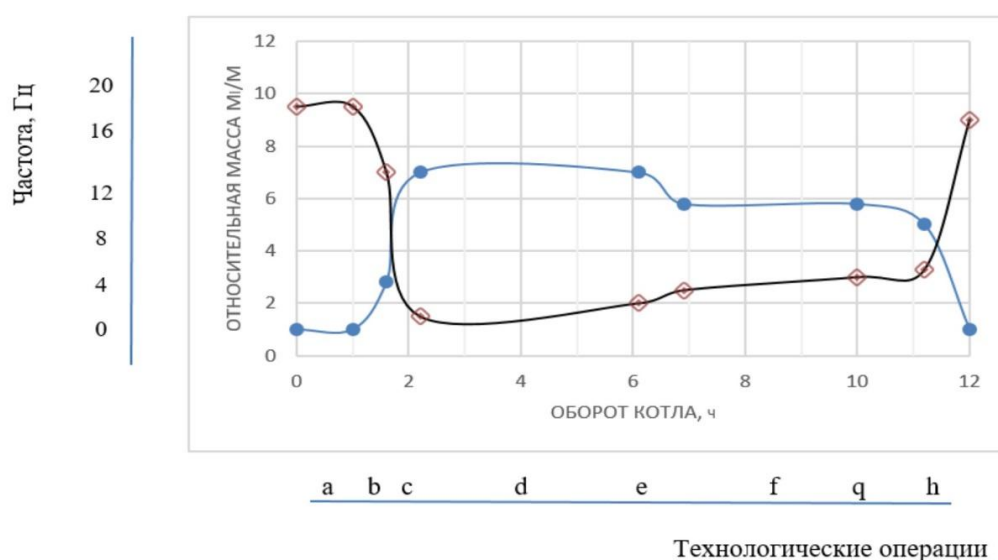


Рис. 1. Графики параметров ВК за цикл варки:

- 1 - относительной массы; 2 - собственной частоты колебаний; а - осмотр; в - загрузка щепы; с - закачивание варочного раствора; d - варка; е - перепуск щелока; f- стоянка; q - отбор щелока; h - выдувка;  $M_i$  - суммарная масса ВК;  $M_0$  - масса незагруженного ВК

Для оценки воздействия массы обрабатываемого сырья на динамические характеристики ВК произведен расчет низшей собственной частоты колебаний ВК [2]. Частотное уравнение (1) для этой модели запишется в виде:

$$\Delta(w^2) = \begin{vmatrix} \lambda_{\text{xf}}^2 - \delta_{\text{ff}}\omega^2 & -\delta_{\text{kf}}\omega^2 & -\lambda_{\text{xf}}^2 & 0 \\ -\lambda_{\text{xf}}^2 & \lambda_{\text{xf}}^2 - \delta_{\text{kf}}\omega^2 & -\lambda_{\text{xf}}^2 \frac{h_{12}}{h_{11}} & -\lambda_{\text{xf}}^2 \\ -\frac{\gamma_{\text{ff}}}{r_{\text{f}}} h_{11}\omega^2 & -\frac{\gamma_{\text{kf}}}{r_{\text{k}}} h_{21}\omega^2 & \lambda_{\text{xf}}^2 - \gamma_{\text{ff}}\omega^2 & -\gamma_{\text{kf}}\omega^2 \\ 0 & -\frac{\gamma_{\text{kf}}}{r_{\text{k}}} h_{22}\omega^2 & -\lambda_{\text{xf}}^2 \frac{h_{21}}{h_{11}} & \lambda_{\text{xf}}^2 \frac{h_{21}}{h_{11}} - \gamma_{\text{kf}}\omega^2 \end{vmatrix} = 0 \quad (1)$$

Влияние массы обрабатываемого сырья в уравнении учитывается в парциальных собственных частотах  $\lambda_{\text{хк}}$ ,  $\lambda_{\text{чк}}$ , коэффициентах  $\delta_{\text{кф}}$ ,  $\delta_{\text{кк}}$ ,  $\Gamma_{\text{к}}$ ,  $\Gamma_{\text{ф}}$ ,  $\gamma_{\text{кк}}$ ,  $\gamma_{\text{фф}}$ . Зависимость собственных частот колебаний ВК от массы обрабатываемого сырья за цикл варки показана на рис.2. Отметим, что собственные частоты колебаний максимально загруженного ВК значительно ниже, чем незагруженного.

Наряду с изменением массы загруженного ВК в процессе варки происходит изменение агрегатного состояния сырья. Технологическая щепка разрушается под воздействием варочного раствора. Из щепы в виде газов удаляются эфиры и другие летучие соединения, в жидкую фазу переходят лигнин, смолы, часть гемицеллюлоз. В виде волокнистого твердого материала сохраняется целлюлоза, часть гемицеллюлоз и лигнина. Содержимое ВК к концу варки представляет собою трехфазную субстанцию (волокнистая масса, черный щелок, парогазовая смесь). По окончании варки содержимое ВК расслаивается на три фракции.

В нижней части ВК осаждается более плотная волокнистая масса (целлюлоза), в средней части располагается черный щелок (жидкое вещество), вверху - парогазовая фаза. Расслоение содержимого ВК приводит к смещению центра масс котла вниз. Общая масса ВК не изменяется.

Определим влияние смещения центра масс ВК на низшую собственную частоту колебаний ВК. Координата центра масс определялась по формуле [1]

$$h_{i \text{ пр}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_{ki} h_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (2)$$

где  $h_i$ ,  $m_i$  – соответственно координата и масса  $i$ -го фрагмента ВК;  
 $n$  – число фрагментов.

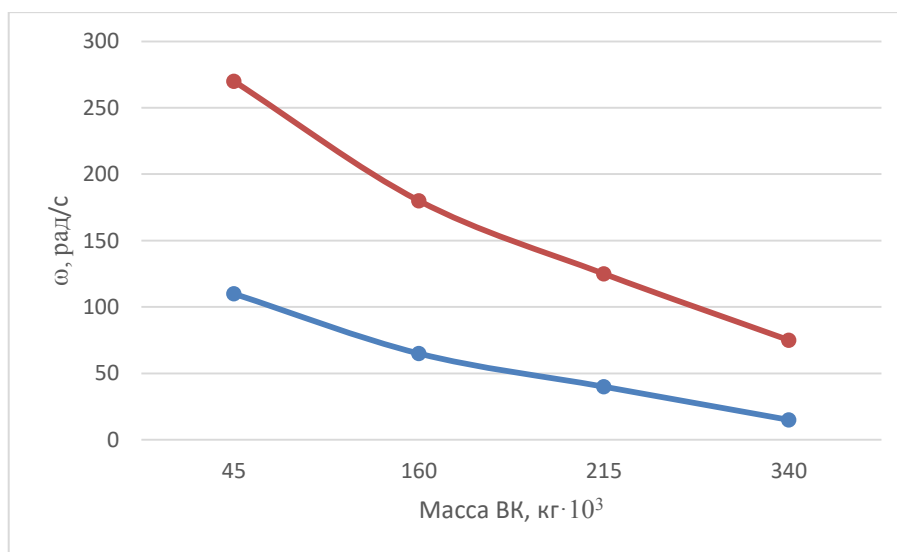


Рис. 2. Зависимость собственных частот колебаний котла КВСи-320 от заполнения его сырьем: а - без сырья; б - максимальное заполнение сырьем;  
 1 - частота первой формы колебаний; 2 - то же второй формы

При окончании варки  $m_i$  следует определять с учетом массы субстанции, находящейся в  $i$ -м фрагменте ВК (рис. 3). Целлюлозное волокно занимает около 35...40% объема нижней части ВК. Целлюлозное волокно располагается в нижнем коническом днище, сферическом переходе от цилиндра к коническому днищу и в цилиндрической части ВК.

Массы элементов ВК участков  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  определяются по формуле

$$m_i = m_{ci} + m_{\text{цн}}, \text{ где } i = 1, 2, 3, \quad (3)$$

$m_{ci}$ ,  $m_{ci}$  - массы соответственно стального корпуса и целлюлозного волокна в  $i$ -м фрагменте ВК.

Черный щелок отбирают из ВК при перепусках в соотношении 5... 15 % от общего объема варочного раствора. К концу варки черный щелок занимает 25...45 % объема ВК. Черный щелок располагается в средней цилиндрической части. Масса фрагмента ВК, занятого черным щелоком, определяется по формуле  $m_4 = m_c + m_{щ}$ , где  $m_{щ}$  - масса черного щелока.

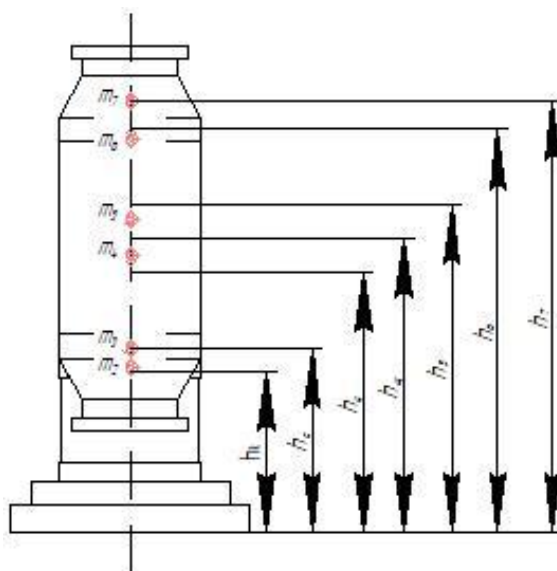


Рис. 3. Схема к расчету масс фрагментов ВК после расслоения продуктов варки

Массы  $m_5$ ,  $m_6$ ,  $m_7$  фрагментов корпуса, заполненных парогазовой фазой, определяются по формуле  $m_i = m_{ci}$ ;  $i = 5, 6, 7$ . Масса парогазовой фазы при расчетах не учитывается.

Низшую собственную частоту колебаний ВК после расслоения продуктов варки определяем по уравнению (1) или для упрощенной схемы ВК по формуле (4):

$$f = \frac{\alpha}{2\pi H^2} \sqrt{\frac{EIH}{M_{пр}}}, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент формы колебаний;

$H$ ,  $M_{пр}$  – соответственно высота и приведенная масса ВК.

Таким образом, динамические характеристики ВК изменяются в широких пределах в зависимости от массы и агрегатного состояния сырья. Технологическое оборудование, перерабатывающее большие объемы сырья, следует рассчитывать на колебания с учетом массы сырья и изменения агрегатного состояния сырья.

### Список литературы

1. Муромцев, Ю.Л. Безаварийность и диагностика нарушений в химических производствах / Ю.Л. Муромцев. - М.: Химия, 1990. – 144 с.
2. Санников, А.А. Вибрация и шум технологических машин и оборудования лесного комплекса / А.А. Санников, В.Н. Старжинский, Н.В. Куцубина, Н.В. Черемных, В.П. Сиваков, С.Н. Вихарев // Урал. гос. лесотехн. ун-т. – 2006. – 484с.

**ДИАГНОСТИКА УСТАЛОСТНОЙ ТРЕЩИНЫ  
В РОТОРНОЙ СИСТЕМЕ СТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

**Захезин Альберт Михайлович,**  
канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет»,  
г. Челябинск, E-mail: [info@susu.ru](mailto:info@susu.ru)

**Колосова Ольга Петровна,**  
канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет»,  
г. Челябинск, E-mail: [info@susu.ru](mailto:info@susu.ru)

**Иванов Дмитрий Юрьевич,**  
канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет»,  
г. Челябинск, E-mail: [info@susu.ru](mailto:info@susu.ru)

**Пакулев Михаил Валерьевич,**  
генеральный директор ООО Инженерный Центр Диагностики и контроля  
«СоюзТехГаз», г. Челябинск, E-mail: [argongaz@gmail.com](mailto:argongaz@gmail.com)

**Перкина Анастасия Александровна,**  
эксперт ООО Инженерный Центр Диагностики и контроля «СоюзТехГаз»,  
г. Челябинск, E-mail: [argongaz@gmail.com](mailto:argongaz@gmail.com)

**Рыбин Владимир Александрович,**  
ведущий эксперт ООО Инженерный Центр Диагностики и контроля «СоюзТехГаз»,  
г. Челябинск, E-mail: [argongaz@gmail.com](mailto:argongaz@gmail.com)

***Ключевые слова:** Фурье-анализ, частотный анализ, вейвлет-анализ, коэффициент демпфирования, промышленная безопасность.*

***Аннотация.** В статье рассматривается метод неразрушающего контроля состояния конструкции механической системы в нормальных режимах работы и обнаружения дефектов с использованием Фурье-и вейвлет-анализа вибрационного сигнала.*

**STATISTICAL METHODS DIAGNOSTICS OF FATIGUE CRACKS  
IN THE ROTOR SYSTEM**

**Zakhezin Albert Mikhailovich,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor  
South Ural state University, Chelyabinsk, E-mail: [info@susu.ru](mailto:info@susu.ru)

**Kolosova Olga Petrovna,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor  
South Ural state University, Chelyabinsk, E-mail: [info@susu.ru](mailto:info@susu.ru)

**Ivanov Dmitry Yurievich,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor  
South Ural state University, Chelyabinsk, E-mail: [info@susu.ru](mailto:info@susu.ru)

**Pakulev Mikhail Valeryevich,**  
CEO, LLC Engineering Center of Diagnosis and control "SoyuzTehGaz",  
Chelyabinsk, E-mail: [argongaz@gmail.com](mailto:argongaz@gmail.com)

**Perkina Anastasia Alexandrovna,**  
**The expert, LLC Engineering center of Diagnostics and control "SoyuzTehGaz",**  
**Chelyabinsk, E-mail: [info@susu.ru](mailto:info@susu.ru)**

**Rybin Vladimir Alexandrovich,**  
**A lead expert, LLC Engineering Center for Diagnostics and control "SoyuzTehGaz",**  
**Chelyabinsk, E-mail: [info@susu.ru](mailto:info@susu.ru)**

**Key words:** *Fourier analysis, frequency analysis, wavelet analysis, damping factor, industrial security.*

**Abstract.** *The article considers the method of non-destructive testing for structural condition monitoring of a mechanical system in normal operating modes and detection of defects with use of Fourier and wavelet analysis of vibration signal.*

Разрушение элементов конструкций при переменных нагрузках происходит обычно постепенно, вследствие накопления микрповреждений, переходящих в развивающиеся усталостные трещины. Появление в элементах конструкции усталостных трещин еще не означает окончательного выхода этих элементов из строя и необходимости немедленного проведения ремонтных работ. На практике элементы конструкции с трещинами могут продолжать надежно функционировать еще значительное время, а небольшое снижение эксплуатационных нагрузок может повысить их долговечность и даже полностью приостановить рост трещин. Поэтому при вибрационной диагностике роторных машин необходимо определять не только наличие и глубину трещины, но и ее местоположение, так как скорость роста трещин зависит от уровня возникающих напряжений и от длины имеющейся на данный момент трещины.

Для диагностики усталостных трещин в роторных системах было изготовлено десять образцов вала лабораторной установки. В месте концентрации напряжений (галтель возле подшипника) была искусственно выращена трещина различной глубины на стенде, моделирующем циклические нагрузки при консольном изгибе. Схема установки приведена на (рис.1). Вал винтами закреплялся тонким концом в специальном приспособлении и устанавливался на стол вибростенда. На толстый конец вешался груз, который фиксировался контргайкой (рис.2).

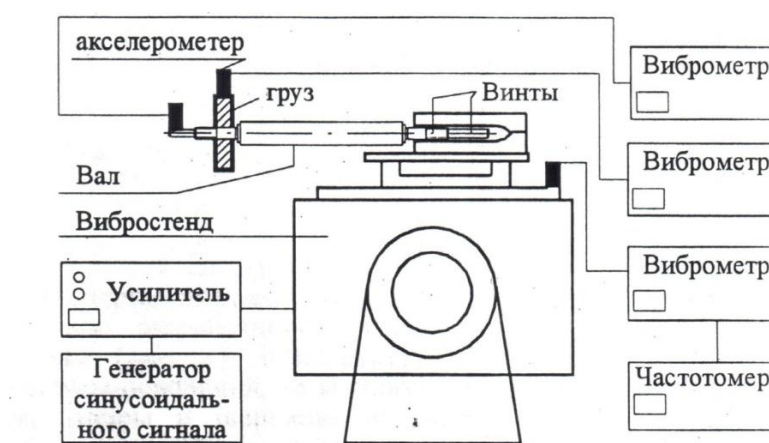


Рис. 1. Стенд для выращивания усталостной трещины



При испытаниях, с помощью генератора синусоидального сигнала, сначала входное воздействие задавалось вблизи третьей резонансной частоты системы, затем по достижении определенного количества циклов нагружения фиксировалось появление трещины по увеличению амплитуды виброускорения.

После этого частоту синусоидального сигнала изменяли на частоту находящуюся в окрестностях третьей резонансной частоты системы. Для невидимых, зарождающихся трещин переход на вторую стадию нагружения в окрестностях резонансной частоты не производился.

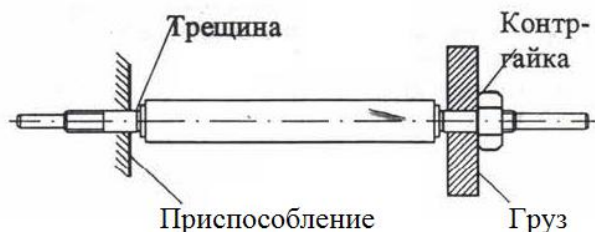


Рис. 2. Местоположение усталостной трещины

Использование двух режимов нагружения при наращивании трещины смогло приблизить процесс развития и роста трещины к условиям усталостного развития трещин в валах при нестационарных нагружениях. В процессе наращивания трещины определялось количество циклов нагружения, амплитуда прогиба конца вала и амплитуда ускорения груза в начале и в конце испытаний.

Экспериментальные исследования были проведены на специально разработанной и изготовленной лабораторной установке (рис. 3).

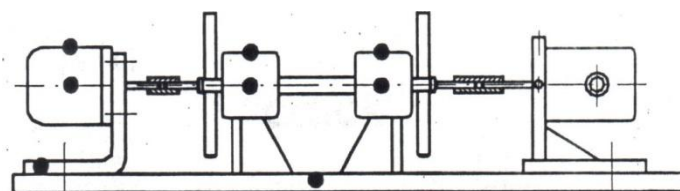


Рис. 3. Экспериментальная установка

Конструктивно установка состоит из платформы-основания, на которой крепятся электродвигатель и две опоры с шариковыми радиальными однорядными подшипниками. В опорах на подшипниках качения вращается вал с двумя дисками. Вал соединен с электродвигателем с помощью муфты. Экспериментальное исследование вибраций заключалось в измерении виброускорений в вертикальном и горизонтальном направлениях на корпусах подшипников для десяти случаев технического состояния вал без трещины и вал с трещиной различной глубины при прочих равных условиях.

Расчетное исследование динамики роторной системы заключалось в создании конечно-элементной модели, теоретического модального анализа, и динамического исследования изменения модальных вкладов в роторной системе.

Расчет конечно-элементной модели был выполнен с использованием пакета прикладных программ STARDYNE. Математическая модель роторной системы, поддерживаемая подшипниками качения, состоит из 441 узлов (482 в системе с трещиной) и 200 (208) конечных элементов в виде пространственных призм (рис. 4).

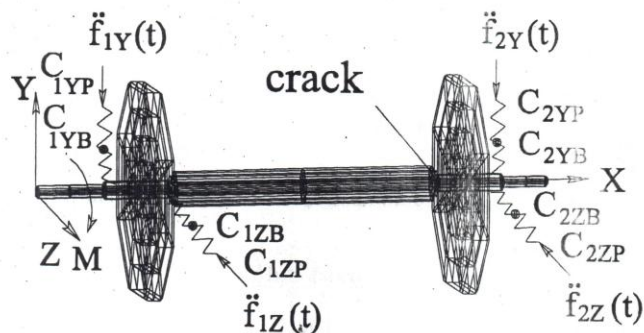


Рис. 4. Конечно-элементная модель

Вычислительная процедура состояла из нескольких этапов: формирование матриц жесткости для каждого конечного элемента; статический анализ; вычисление собственных частот и собственных форм конструкции; динамический анализ. В качестве входных воздействий при динамическом расчете в конечно-элементной модели использовались измеренные значения виброускорений подшипниковых узлов в вертикальном и горизонтальном направлениях. Для различных конечно-элементных моделей (без трещины и с трещиной 7%) были получены собственные значения для 1161 степени свободы системы, и построены собственные формы для первых 600 мод (в диапазоне до 1200 Гц).

При анализе мод колебаний сложная динамическая деформация, совершающей механические колебания конструкции, разлагается в набор простых мод с индивидуальными частотными параметрами и параметрами затухания. Поэтому появление и развитие трещины будет изменять сложную динамическую деформацию системы, представляющей собой взвешенную сумму всех мод ее колебаний, и, следовательно, изменять собственную частоту и форму моды. Таким образом, увеличение амплитуды вибросигнала в определенном частотном диапазоне будет связано с изменением модального вклада для собственной частоты, соответствующей этому частотному диапазону.

После проведения конечно-элементного анализа был выявлен частотный диапазон 650-1150 Гц, в котором произошло наиболее сильное изменение модальных вкладов роторной системы при появлении усталостной трещины на валу. Статистический анализ вибросигнала заключался в определении пик-фактора, эксцесса и безразмерных амплитудных дискриминантов высоких четных порядков. Значения пик-фактора, коэффициента эксцесса и безразмерных амплитудных дискриминантов высоких четных порядков, вычисленных в диапазоне 650-1150 Гц, для систем с различной глубиной трещины приведено в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что при достижении трещины глубины 5-8% и особенно 25%, значения пик-фактора, коэффициента эксцесса и амплитудных дискриминантов значительно увеличиваются как для широкополосного сигнала виброускорения, так и для сигнала выделенного в диапазоне 650-1150 Гц. При появлении трещины 2-3% это увеличение совсем не заметно для широкополосного сигнала, но значения всех коэффициентов увеличиваются для узкополосного сигнала.

Неопределенность многих параметров расчетной модели носит некоторую погрешность при определении мод колебаний. Для того, чтобы контролировать техническое состояние и зарождающиеся дефекты ротора в эксплуатационных режимах работы, проводим спектральный анализ вибросигнала.

Применение того или иного метода обработки вибросигнала подсказывает его характер. Так, если мы имеем стационарный сигнал, то можно ограничиться обработкой во временной области с определением основных гармоник.

Значения пик-фактора, коэффициента эксцесса и безразмерных амплитудных дискриминантов

Величина трещины, в % от площади сечения	Правый подшипник, вертикальное направление	
	Диапазон 2-6535 Гц	Диапазон 650-1150 Гц
Пик-фактор		
0%	2,34	1,65
2-3%	1,801	5,81
5-8%	2,58	8,53
25%	15,34	38,70
Эксцесс		
0%	5,16	1,67
2-3%	3,87	7,07
5-8%	2,09	14,73
25%	46,83	134,48
Значения $A_8$		
0%	0,0447	0,1886
2-3%	0,188	4,261
5-8%	0,785	14,03
25%	874	908

Влияние на вибрационный сигнал большого количества возмущающих факторов требует для его обработки применения спектрального Фурье-анализа. При анализе взаимосвязанных сигналов нужно определить фазовые отношения между несколькими спектрами.

Разного рода местные повреждения, снижение жесткости, образование трещин, увеличение демпфирования, изменение массово-геометрических параметров системы, как во времени так и в пространстве, приводит к нестационарности вибрационного сигнала. С анализом такого рода сигналов хорошо справляется Вейвлет-анализ.

Для установления информативных характеристик аномальных измерений вибросигнала во времени в высокочастотной области применим вейвлет-базис в виде кусочно-непрерывной функции либо вейвлет с большей центральной частотой. В качестве первого приближения воспользуемся для базисной функции вейвлетом Морле, данная функция дает минимальное расхождение с Фурье-анализом вибрационного сигнала. Вейвлет Морле обладает частотной локализацией, лучшей среди других базисов, поэтому рекомендуется для решения задачи представления сигнала в широком диапазоне частот [5-7].

Экспериментальные измерения параметров вибрации проводились с помощью аппаратуры фирмы «Брюль и Кьер», аксельметра 4370, предусилителей 2635. Оцифровку и обработку сигналов измерения выполняли с помощью многоканального синхронного регистратора и спектроанализатора «Атлант» [4], включенного в Государственный реестр средств измерения под № 19989-00. Предварительный анализ результатов Фурье-преобразования позволяет обоснованно выбрать длину реализации вибросигнала, ширину полосы частот, вид вейвлета и центральную частоту Вейвлет-преобразования.

На рис.5 показаны результаты Вейвлет-анализа этих сигналов, где видно, что основные гармоники остаются устойчивыми на протяжении всего временного промежутка. В то время, как выявленные гармоники высоких частот, определяющие зарождающуюся трещину со временем затухают (рис.5). Таким образом, Фурье- и Вейвлет-анализ дополняют друг друга. Первый обнаруживает в анализируемом вибросигнале гармонические компоненты, второй позволяет локализовать гармоники во времени.

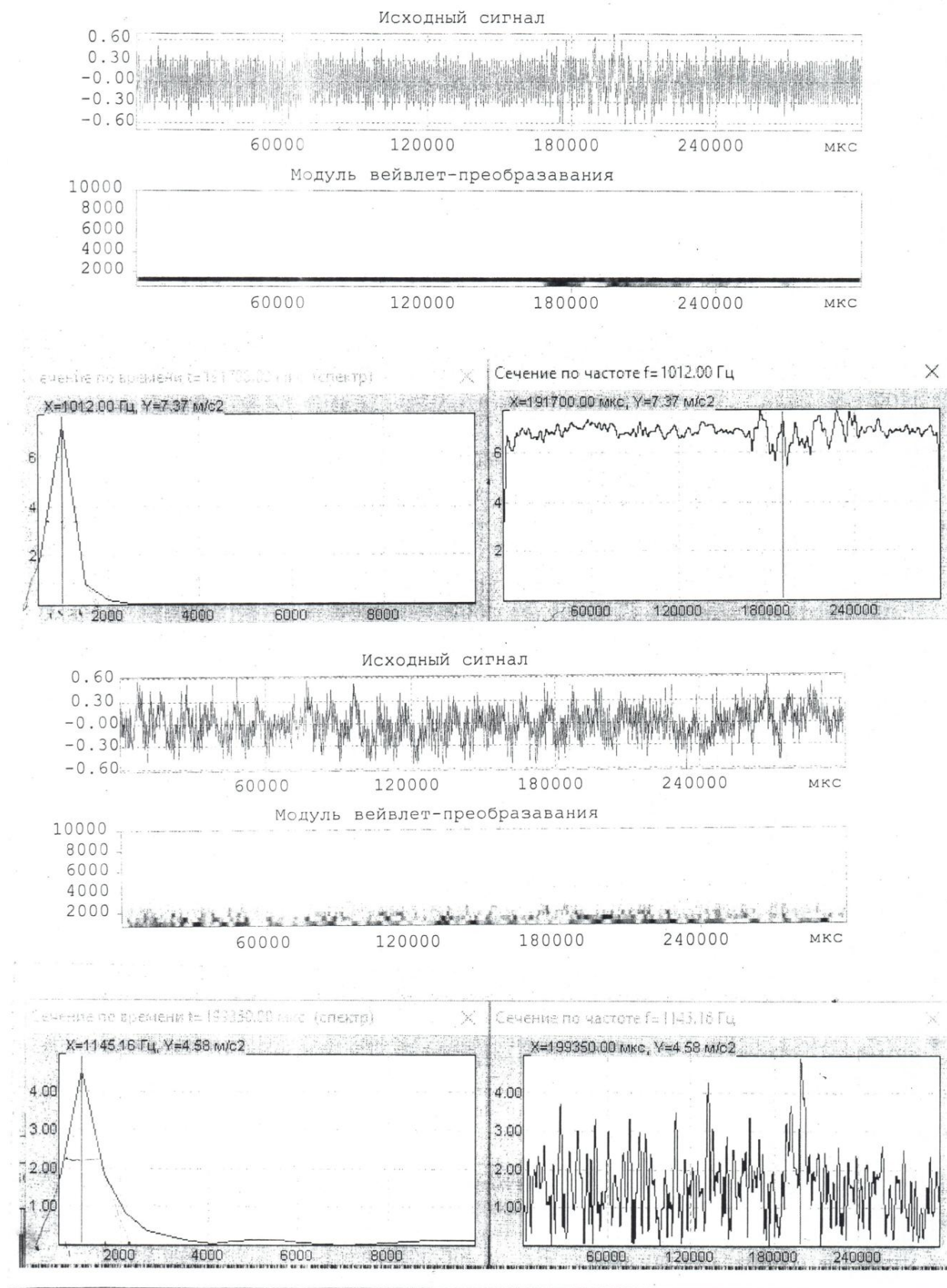


Рис.5. Результаты Вейвлет-анализа дефектного ротора с трещиной а) 5%, в) 25%

Таким образом, пик-фактор, коэффициента эксцесса, значения безразмерных амплитудных дискриминантов плохо отражает появление небольшой трещины в роторной системе для широкополосного сигнала виброускорения, но подходит в качестве информативной характеристики для узкополосного сигнала выделенного в диапазоне 650-1150 Гц - диапазона с наибольшим изменением модальных вкладов в системе с появлением трещины.

С помощью Фурье- и Вейвлет-анализа можно распознать признаки аномального проявления изменения дефектного состояния ротора по коэффициенту демпфирования [5,6], так как с развитием трещины коэффициент демпфирования изменяется на этой частоте.

### Список литературы

1. Захезин А.М., Малышева Т.В., Колосова О.П. Определение глубины и местоположения трещины в системе ротор-вал на подшипниках скольжения с помощью модального анализа. Сборник докладов и материалов IV международной научно-технической конференции "Вибрационные машины и технологии". Курск: КурскийГТУ, 1999.-С. 186-189.
2. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. М.: ДМК Пресс, 2008. – 448 с.
3. Захезин А.М. Метод неразрушающего контроля для определения зарождающихся дефектов при помощи Фурье и Вейвлет-анализа вибрационного сигнала. Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2013. – Т. 13, № 2. – С. 28-33.
4. Многоканальный синхронный регистратор спектроанализатор «Атлант». Руководство пользователя. Пермь. 1997.-С. 139.
5. Захезин, А.М. Мониторинг и прогнозирование несущей способности здания в эксплуатационных режимах его работы. Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений: тез. докл. IV Междунар. симпозиума. - Челябинск, 2012.
6. Zakhezin A. M., Prydco I.G. Vibration Diagnostics of Gas Pipelines Technological Equipment Using Wavelet Analysis. Procedia Engineering. 2016.
7. Захезин А.М., Малышева Т.В. Экспериментальный и теоретический модальный анализ конструкций с усталостными трещинами. Проблемы машиностроения и надежности машин № 5, 2010. – С. 89-96.

---

УДК 676.5+ 676.026.3

### ИЗ ПРАКТИКИ АНАЛИЗА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУШИЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

**Куцубина Нелли Валерьевна,**

канд. техн. наук, доцент,

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,

г. Екатеринбург, E-mail: [Nelly3416@mail.ru](mailto:Nelly3416@mail.ru)

**Васильев Вадим Владимирович,**

старший преподаватель,

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,

г. Екатеринбург, E-mail: [Vadim@vandex.ru](mailto:Vadim@vandex.ru)

**Ключевые слова:** бумагоделательные машины, сушильная часть, анализ технического состояния, вибрация, обрывность бумажного полотна.

**Аннотация.** В докладе обсуждаются причины возникновения колебаний конструкций сушильных частей специфического для сушильных частей характера, выявленных при анализе технического состояния ряда БМ предприятий ЦБП.



FROM THE PRACTICE OF TECHNICAL ANALYSIS  
DRYING PARTS OF PAPERMAKING MACHINES

Kutsubina Nelli Valeryevna,  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [Nelly3416@mail.ru](mailto:Nelly3416@mail.ru)

Vasiliev Vadim Vladimirovich,  
senior lecturer, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [Vadim@yandex.ru](mailto:Vadim@yandex.ru)

**Key words:** paper machines, drying part, analysis of technical condition, vibration, discontinuity of the paper web.

**Abstract.** The report discusses the causes of fluctuations in the designs of drying parts specific to the drying parts of the nature identified in the analysis of the technical condition of a number of paper machines of the enterprises of pulp and paper production.

Сушильная часть – это наиболее металлоемкая и энергоемкая часть бумагоделательной машины (далее – БМ). Техническое состояние сушильной части в значительной степени определяет эффективность технической эксплуатации всей БМ.

К структурным параметрам технического состояния относятся износ, повреждения, дефекты и отклонения элементов конструкций, диагностическими признаками которых является чаще всего вибрация.

Анализ технического состояния рассматриваемого оборудования направлен на выявление причин возникновения вибрации, способной повлечь за собой серьезные проблемы технологического характера, например, возникновение обрывов бумажного полотна.

В докладе обсуждаются причины возникновения колебаний конструкций сушильных частей специфического для сушильных частей характера, выявленных при анализе технического состояния ряда БМ предприятий ЦБП. К специфическим отнесем наличие большого числа сетководущих валов и валиков, объединенных между собой и сушильными цилиндрами сушильной сеткой, сушильные цилиндры, вращающиеся совместно с находящимся внутри цилиндра конденсатом, привод сушильных цилиндров, осуществляемый посредством зубчатых колес и сушильной сетки.

В сушильном цилиндре с паровым нагревом конденсат образуется постоянно. Он находится либо на дне (при скорости до 300 м/мин), либо образует кольцо по окружности цилиндра (при скорости от около 400 м/мин и более).

Известно, что мощность привода цилиндра  $P$  пропорциональна моменту сил трения  $M_{тр}$  и угловой частоте вращения сушильного цилиндра  $\omega$ , зависящей от скорости машины,  $V_m = 30 d_{ц} \omega$ , где  $d_{ц}$  – диаметр цилиндра,  $P = M_{тр} V_m / (30 d_{ц})$ . Момент трения имеет две составляющих: постоянную  $M_{то}$ , не зависящую от массы конденсата, и переменную, зависящую от массы и состояния (в виде кольца или ванны) конденсата [1].

Переменная составляющая момента трения включает в себя составляющую момента трения в подшипниках от сил веса конденсата  $M_{тк}$  и момента жидкостного трения конденсата о стенки цилиндра  $M_{тж} = m_k g f_{ж}$ , где  $m_k$  – масса конденсата в цилиндре;  $f_{ж}$  – коэффициент жидкостного трения. При наличии конденсатного кольца  $M_{тж} \rightarrow 0$ , при наличии конденсата в цилиндре в виде ванны момент жидкостного трения пропорционален массе конденсата.

При неудовлетворительной работе пароконденсатной системы при дальнейшем накоплении конденсата в цилиндре толщина кольца непрерывно увеличивается, вплоть до наступления критической толщины, при которой кольцо разрушается. Момент жидкостного трения изменяется скачкообразно.

После разрушения конденсатного кольца конденсат скапливается в нижней части цилиндра в виде ванны и под воздействием сил трения о стенки цилиндра начинает совершать маятниковые колебания.

На цилиндр действует момент силы веса конденсата, определяемый по формуле  $M_B = M_a \cos \omega_0 t$ , где  $M_a$  – амплитуда момента сил веса конденсата;  $\omega_0$  – собственная частота маятниковых колебаний конденсата, рад/с.

Мощность привода сушильного цилиндра при наличии в нем конденсата в виде ванны определяется по формуле

$$P = [M_{TO} + (k_1 + k_2)m_k + M_a \cos \omega_0 t] V_M, \quad (1)$$

где  $k_1$ ;  $k_2$  – коэффициенты пропорциональности соответственно составляющих моментов трения в подшипниках и жидкостного трения конденсата о стенки цилиндра.

Мощность привода цилиндра при наличии конденсата в виде кольца определяется также по формуле (1), но при  $k_2=0$  и  $M_a=0$ .

Диагностическим признаком автоколебаний конденсата в сушильных цилиндрах является внезапное увеличение мощности привода и колебания силы тока питающей сети.

На рис. 1 приведена запись мощности привода сушильной группы одной из БМ в процентах от номинальной мощности при скорости машины, равной 398 м/мин.

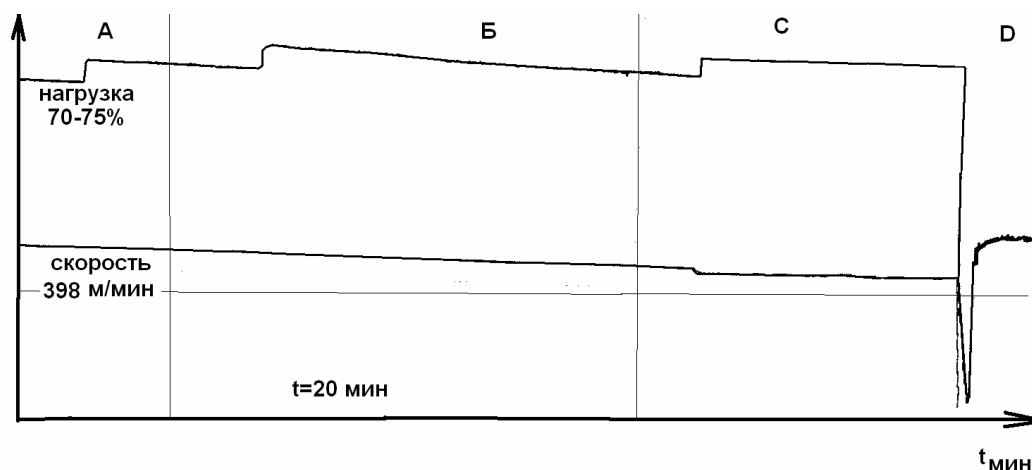


Рис.1. Нагрузка привода и скорость сушильной группы

В моменты времени АВС с интервалом 10...20 мин происходило обрушение конденсатного кольца поочередно в трех цилиндрах группы. В момент времени Д произошел обрыв бумажного полотна и кратковременное снижение скорости машины.

На рис. 2 приведены частота вращения двигателя привода и сила тока питаемой сети в процентах от номинального значения, вызываемые автоколебаниями конденсата в цилиндрах.

Таким образом, наличие автоколебаний конденсата в сушильных цилиндрах может являться причиной обрывности бумажного полотна в сушильной части, а диагностироваться эти колебания могут по мощности привода и силе тока питающей сети.

Известны [2] случаи обрывности бумажного полотна при передаче бумажного полотна с сушильной части на каландр, с прессовой части в первую сушильную группу из-за отклонения от требуемых соотношений скоростей секций.

Причиной отклонения стали интенсивные колебания измерительного вала системы управления скоростями секций БМ вследствие его неуравновешенности и кинематического воздействия колеблющейся от внешних источников станины.



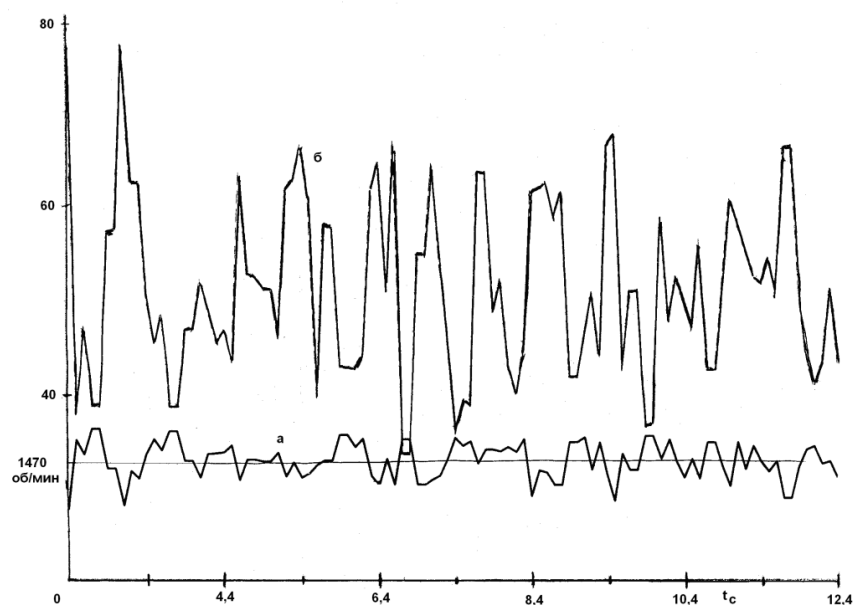


Рис.2. Частота вращения двигателя привода сушильной сетки (а) и колебания силы тока питающей сети (б)

Следует отметить, что колебания конструкций сушильных частей значительно возрастают при кратности отношений частот вращения сушильных цилиндров и оборота сушильных сеток, отношений диаметров сушильных цилиндров и сетководящих валов, при совпадении собственных частот валов и цилиндров и частот колебаний станин.

Интересный случай с обрывностью бумажного полотна, заставивший обратить внимание на проблему, произошел при передаче бумаги с предпоследней сушильной группы на клеильный пресс (рис.3).

Колебания консоли, на которой был установлен измерительный валик, возбуждались повторяющимся защемлением канатика в канатикопроводящей системе сушильной части, проявляющиеся в виде кратковременного изменения натяжения канатика.

Поскольку собственная частота колебаний измерительного валика оказалась близка к частоте колебаний консоли и станины, возбуждались околорезонансные колебания измерительного валика, нарушающие регулирование частоты вращения валов клеильного пресса и приведшие к обрывности бумаги.

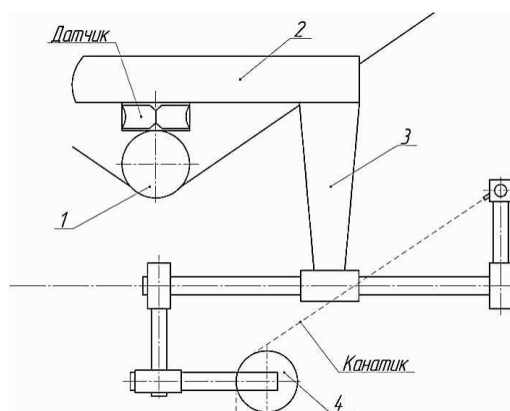


Рис.3. Схема консольной конструкции канатиковой заправки:

1 – измерительный вал; 2 – консоль станины; 3 – конструкция, поддерживающая ролик;  
4 – ролик канатиковой заправки

Таким образом, при диагностике обрывности бумажного полотна следует обращать внимание на параметры и причины вибрации измерительных валов [2].

Привод сушильных цилиндров БМ осуществляется преимущественно посредством зубчатых передач паразитного, шахматного или иного исполнения. Сушильные цилиндры кроме жесткой кинематической связи в виде зубчатых передач связаны между собой гибким элементом в виде сушильной сетки, имеющим технологическое назначение [3].

В идеальной бездефектной сушильной части передача момента осуществляется преимущественно зубчатыми колесами. На практике встречаются случаи, когда диаметры сушильных цилиндров оказываются неравными. Это приводит к перераспределению передаваемой мощности между зубчатыми передачами и гибкими связями, а при большей разнице диаметров – к фрикционным срывам гибкой связи относительно того или иного цилиндра.

Подобные срывы неоднократно наблюдались на практике. Они имеют импульсный характер, возбуждают интенсивные крутильно-вращательные колебания привода и вибрацию станин и фундаментов сушильных частей БМ преимущественно на собственных частотах (рис.4).

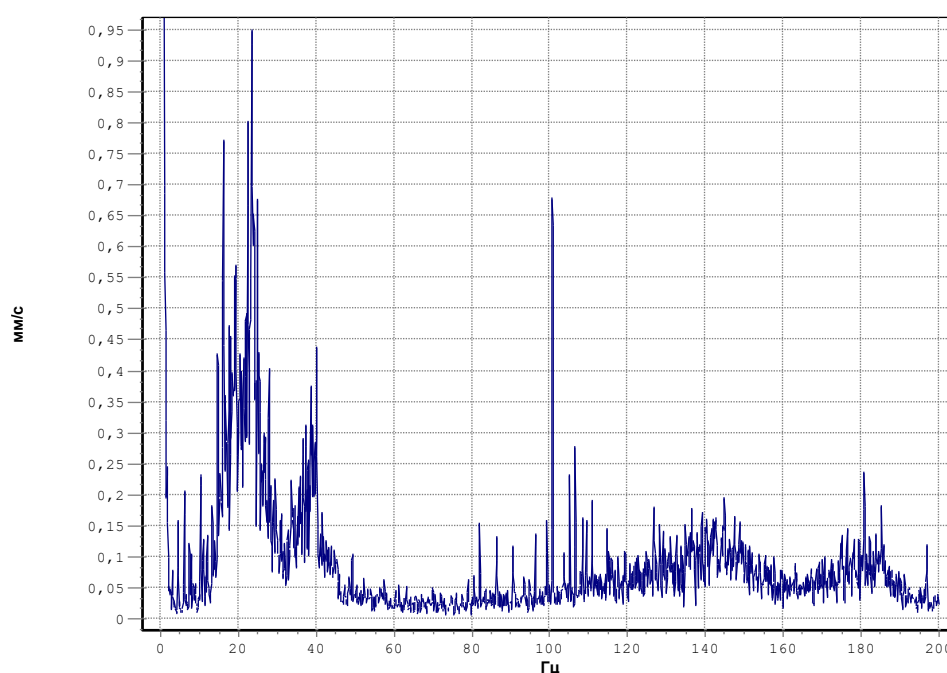


Рис.4. Импульсная вибрация корпуса подшипника сушильного цилиндра

Появление в спектре сушильной части импульсной вибрации с интервалом времени, имеющим случайный характер, является диагностическим признаком того, что один или несколько сушильных цилиндров имеют диаметр, отличающийся от диаметра смежных цилиндров сушильной группы по приводу.

Исходя из опыта, рекомендуемая разница в периметрах сушильных цилиндров одной секции не должна превышать 2 мм.

### Список литературы

1. Вибродиагностика, триботехника, вибрация и шум: монографический сборник / Под ред. А. А. Санникова, Н. В. Куцубиной. – Екатеринбург : Уральск. гос. лесотехн.ун-т, 2009. – 416 с.
2. Санников А.А., Гилев А.Ю., Куцубина Н.В., Исаков С.Н. Влияние вибрации измерительных валков системы управления скоростями секций бумагоделательных машин на обрывность бумажного полотна// Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/120-16377> (дата обращения: 19.12.2014)

3. Санников А.А., Куцубина Н.В., Васильев В.В. Автофрикционные колебания в системах с избыточными фрикционными связями бумагоделательных машин// Вестник ИжГТУ. – Ижевск, 2012. № 2. – С.14-16.

---

УДК 676+62-7

## МОДЕРНИЗАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ НА НЕБОЛЬШИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Санников Александр Александрович,  
д-р техн. наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [sannikov@usfeu.ru](mailto:sannikov@usfeu.ru)

Носков Игорь Борисович,  
главный механик, АО «Ярославская бумага»,  
г. Ярославль, E-mail: [noskov@yarpaper.ru](mailto:noskov@yarpaper.ru)

Васильев Вадим Владимирович,  
старший преподаватель,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [Vadim@yandex.ru](mailto:Vadim@yandex.ru)

Куцубина Нелли Валерьевна,  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [Nelly3416@mail.ru](mailto:Nelly3416@mail.ru)

*Ключевые слова:* бумагоделательная машина, вибрация, прогнозирование, диагностика.

*Аннотация.* В статье обсуждаются вопросы прогнозирования вибрационного и диагностики технического состояния малогабаритной бумагоделательной машины при увеличении ее скорости.

## MODERNIZATION AND DIAGNOSTICS OF PAPER MACHINE FOR SMALL BUSINESS

Sannikov Alexander Alexandrovich,  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [sannikov@usfeu.ru](mailto:sannikov@usfeu.ru)

Noskov Igor Borisovich,  
chief mechanic, JSC «Yaroslavl paper», Yaroslavl, E-mail: [noskov@yarpaper.ru](mailto:noskov@yarpaper.ru)

Vasiliev Vadim Vladimirovich,  
senior lecturer, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [Vadim@yandex.ru](mailto:Vadim@yandex.ru)

Kutsubina Nelli Valeryevna,  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [Nelly3416@mail.ru](mailto:Nelly3416@mail.ru)

*Key words:* paper machine, vibration, forecasting, diagnostics.

*Abstract.* The article discusses the issues of vibration prediction and diagnostics of the technical condition of a small paper machine with increasing its speed.

В промышленности России и других стран работают крупные предприятия по производству бумаги массового потребления преимущественно из древесины. На этих предприятиях в технической эксплуатации оборудования задействованы службы (лаборатории) диагностики, состоящие из одного-двух десятков специалистов.

Наряду с крупными предприятиями в промышленности работают десятки малых предприятий, которые специализируются на производстве бумаги преимущественно из макулатуры. На этих предприятиях работают одна-две узкоформатные тихоходные бумагоделательные машины. Ремонтный персонал на этих предприятиях малочисленен, специализированных служб диагностики нет. На предприятии в лучшем случае проводятся работы по измерению общего уровня вибрации и температуры корпусов подшипников, которые по совместительству выполняет один из слесарей ремонтной службы предприятия.

Решение о необходимости профилактических мероприятий по предотвращению отказов оборудования принимаются руководителями отделов главного механика и главного энергетика, технологической службы, исходя из опыта, то есть на основе, так называемой, органолептической диагностики. Фактически, в общепринятом понимании, диагностика малоскоростных машин не проводится.

В настоящее время потребность в бумаге, используемой для производства картона, возрастает. Предприятия, выпускающие бумагу для картона, увеличивают скорости БМ.

Для обоснования возможности увеличения скорости БМ необходима комплексная диагностика их конструкций, при которой производится модальный анализ и прогнозирование их вибрационного состояния. Иначе определяются собственные частоты колебаний валов и цилиндров, станин и фундамента, привода, выявляется напряженное состояние конструкций и оценка их технического состояния [1].

Определение вышеназванных параметров необходимо не только для принятия решений о модернизации, но также является теоретической основой для диагностики БМ после модернизации, для оформления диагностического паспорта БМ.

Эти вопросы, в частности, решались коллективом кафедры технической механики и оборудования ЦБП УГЛТУ при обосновании возможности увеличения рабочей скорости БМ Valmet АО «Ярославская бумага» более, чем в 2 раза.

Простейший и совершенный метод прогнозирования и оценки вибрационного состояния машины – довести ее скорость до планируемой величины, измерить и оценить параметры вибрации. Этот метод широко применяется в случаях, когда скорость машины увеличивается на 5-10% , максимум 20%. Но он невозможен и даже опасен, когда скорость машины планируется увеличить в 1,5-2 раза и более.

В этом случае приемлем метод прогнозирования вибрационного состояния БМ на основе модального анализа валов и цилиндров, станин и фундамента. Метод модального анализа заключается в определении собственных частот колебаний и параметров вынужденных колебаний конструкций при достигнутой скорости БМ и расчетного обоснования и оценки параметров их вынужденных колебаний при прогнозируемой скорости.

Так, в результате экспериментальных исследований БМ Valmet АО «Ярославская бумага» выявлено, что станина и фундамент, валы и цилиндры работают в дорезонансном режиме, то есть частоты их собственных колебаний  $\omega_0$  превышают частоты возбуждающих колебания сил. Этому способствует малая ширина машины и высокая жесткость массивного фундамента. Амплитуды виброперемещений конструкций, возбуждаемых силами инерции неуравновешенных масс валов и цилиндров, качественно описывается зависимостью [2], которая графически представлена на рис. 1.

$$S_a = \frac{m_{\text{в}} e}{m_k} \frac{\eta^2}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 + \frac{\eta^2}{\alpha^2 p}}}, \quad (1)$$

где  $m_b$  – масса вала, неуравновешенность которого возбуждает колебания конструкции;  
 $m_k$  – масса конструкции, колебания которой возбуждаются силой инерции неуравновешенной массы вала;  
 $e$  – удельный дисбаланс вала;  
 $\eta$  – частотное отношение, равное отношению частоты вращения вала  $\omega$  к частоте собственных колебаний конструкции  $\omega_0$ ,  $\eta = \omega/\omega_0$ ;  
 $\alpha_p$  – коэффициент динамического усиления колебаний конструкции при резонансе, равный отношению амплитуд виброперемещений при резонансе  $S_{ap}$  к мере уровня возбуждающих колебаний сил  $v = m_b e/m_k$ ,

$$\alpha_p = S_{ap} m_k / (m_b e).$$

Для валов и конструкций БМ  $\alpha_p = 8 \dots 15$ .

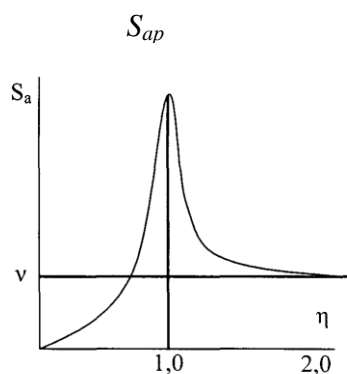


Рис.1. Амплитудно-частотная характеристика конструкции БМ

Из зависимости (1) вытекает, что интенсивность колебаний конструкций БМ зависит, прежде всего, от частотного отношения  $\eta$  и от меры уровня возбуждающих колебания сил  $v$ .

Определение динамических характеристик валов и цилиндров, станин и фундамента БМ при достигнутой скорости, при разгоне отдельных секций БМ до максимально возможной скорости показали, что при увеличении скорости БМ в 2,5 раза параметры вибрации конструкций БМ увеличатся, но не превысят допустимых значений при условии балансировки валов и цилиндров. Предложена для балансировки валов и цилиндров непосредственно на предприятии простейшая балансировочная установка (рис.2), реализованная на ряде предприятий ЦБП.



Рис.2. Балансировочная установка:

а – привод балансируемого вала; б – подвеска корпуса подшипника балансируемого вала

Увеличение скорости БМ приведет к увеличению мощности привода секций, которую можно определить по известной формуле [3]:

$$P_n = P_d \frac{V_n}{V_d} [1 + K_V(V_n - V_d)K_m], кВт,$$

где  $P_n$  и  $P_d$  – прогнозируемая и достигнутая при эксперименте мощность привода, кВт;

$V_n$  и  $V_d$  – прогнозируемая и достигнутая при эксперименте скорость машины, м/мин;

$K_V$  – скоростной коэффициент;

$K_m$  – коэффициент, учитывающий возможность увеличения нагрузки.

Коэффициент  $K_V$  принимается равным  $K_V = 0,004$  для привода формующей части,  $K_V = 0,0004$  – для привода прочих секций. Коэффициент  $K_m$  принимается равным  $K_m = 1,25 \dots 1,3$  – для формующей части, каландра и наката;  $K_m = 1,25 - 1,5$  – для сушильной части.

Как уже отмечалось, функции и наукоемкость диагностики оборудования на малых и крупных предприятиях совпадают, а организация службы диагностики отличаются из-за малочисленности ремонтного персонала. Структура и организация системы диагностики на крупных и средних предприятиях не приемлемы для малых предприятий.

Видится следующая неформальная структура службы диагностики. Штатный руководитель службы – специалист из инженерно-технических работников или высококвалифицированных рабочих, подготовленный для измерения и анализа параметров вибрации, в частности, спектрального состава вибрации, способный организовать выверку и балансировку, виброизоляцию оборудования. В состав неформальной службы по диагностике технического состояния БМ и другого технологического оборудования должны входить представители отделов главных механика, энергетика, технолога. Включение в неформальную службу технолога обуславливается тем, что многие параметры технического состояния БМ, например, оборудования массоподводящей системы, напорного ящика, сеточного стола и даже прессовой части проявляются на качественных показателях бумажного полотна, например, колебаниях массы квадратного метра бумаги.

### Список литературы

1. Куцубина Н.В. Теория и практика оценки технического состояния трубчатых валов бумагоделательных машин. Моногр./ Н.В. Куцубина. – Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2016. – 132 с.
2. Куцубина Н.В. Виброзащита технологических машин и оборудования лесного комплекса/ Н.В. Куцубина, А.А. Санников. – Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2008. – 212 с.
3. Бумагоделательные и картоноделательные машины /под ред. В.С. Курова, Н.Н. Кокушина. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 598 с.

УДК 676.22.017

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ ХИМИКАТОВ НА БДМ7 ООО «ЦБК «КАМА». ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

**Захватаев Евгений Олегович,**  
главный технолог ООО «Целлюлозно-бумажный комбинат «Кама»  
г. Краснокамск, E-mail: [Zahvataev-EO@cbk-kama.ru](mailto:Zahvataev-EO@cbk-kama.ru)

**Романов Олег Евгеньевич,**  
инженер в направлении продаж оборудования, ООО «Макорус»,  
г. Санкт-Петербург, E-mail: [romanov\\_oe@makorus.com](mailto:romanov_oe@makorus.com)

**Ключевые слова:** удержание волокна, дозирование химикатов, TrumpJet.

**Аннотация.** В статье описаны особенности и принцип работы системы подачи химикатов TrumpJet фирмы Wetend Technologies Ltd, Finland. Приведены сравнительные статистические данные работы бумагоделательной машины №7 на ООО «ЦБК «Кама» с системой подачи химикатов TrumpJet и без нее. Сделан сравнительный анализ эффективности модернизации системы смешивания химикатов.

**MODERNIZATION CHEMICAL FEED SYSTEM  
AT THE PM7 "PPM" KAMA" LTD. ECONOMIC EFFICIENCY ASSESSMENT**

**Zakhvataev Evgeniy Olegovich,**  
Chief Technologist, "PPM" KAMA" LTD. Perm region, Krasnokamsk,  
E-mail: [Zahvataev-EO@cbk-kama.ru](mailto:Zahvataev-EO@cbk-kama.ru)

**Romanov Oleg Evgenevich,**  
Engineer of Sales Direction "Makorus" LTD., St. Petersburg,  
E-mail: [romanov\\_oe@makorus.com](mailto:romanov_oe@makorus.com)

**Key words:** paper, fiber retention, chemical dosing, TrumpJet.

**Abstract.** The article describes the features and operating principle of TrumpJet Flash Mixing technology from Wetend Technologies Ltd, Finland. The comparative statistical data of the paper machine №7 on the "PPM" KAMA" LTD with the chemical feed system TrumpJet and without it. Made a comparative analysis efficiency of modernization the chemical mixing system.

Цель модернизации – снижение удельных расходов химикатов (полиакриламид, микрополимер, крахмал, клей АКД) с сохранением механических качественных показателей бумаги (удержание волокна и наполнителя, формование, прочность и проклейка) при условии нормального функционирования бумагоделательной машины. Исключение потребления свежей воды на разбавление химикатов и транспортировку до точки дозирования.

В комплекс работ по модернизации входило решение ряда задач:

разработка и согласование проектной документации;

установка нового оборудования: смесители, повышающий насос, датчики давления и расхода. Врезка в действующий коллектор после напорной сортировки с механической обработкой поверхности;

выполнение комплекса технических мероприятий, наладка АСУТП для необходимых режимов работы / промывки;

ввод системы в эксплуатацию с подбором дозировок химикатов без ухудшения качества продукции;

выполнение технологических гарантий. Анализ экономических и качественных показателей после ввода в эксплуатацию системы TrumpJet.

На рис. 1 представлена типовая система подачи химикатов удержания (полиакриламид и микрополимер), работающая на БДМ7 до модернизации [1,2].

Полиакриламид подавался в распределительное кольцо перед напорной сортировкой, откуда через четыре форсунки поступал в поток массы. Микрополимер подавался в аналогичное распределительное кольцо, но после сортировки. Катионный крахмал подавался в смесительный бассейн POMix, АКД – во всасывающий патрубок насоса POMix. Скорость инъекции при традиционной подаче химикатов не превышала 2...3 м/с [3-5].

При модернизации системы подачи химикатов путем установки системы TrumpJet подача всех вышеуказанных химикатов осуществляется в коллектор после напорной сортировки, но разделенные на два смесителя: катионный продукты (АКД, крахмал, ПАА) через смеситель Chord, анионный микрополимер через смеситель Forte.





Рис. 1. Система подачи химикатов для удержания на БДМ7

На рис. 2 показана система подачи химикатов через смеситель *TrumpJet Forte/Chord*. На рис. 3 показан общий вид смесителя *TrumpJet* в разрезе.

Принцип работы *TrumpJet* основан на протекании жидкостей в трех коаксиальных цилиндрах: А – опорный поток, Б – подача химиката, В – инъекционный поток. За счет такого протекания скорость инъекции составляет порядка 25...30 м/с, что в 10 раз выше, в сравнении с традиционной системой смешения. Добиться такой мощной инъекции позволяет повышающий насос. Всасывающий патрубок повышающего насоса врезается в коллектор после сортировки.

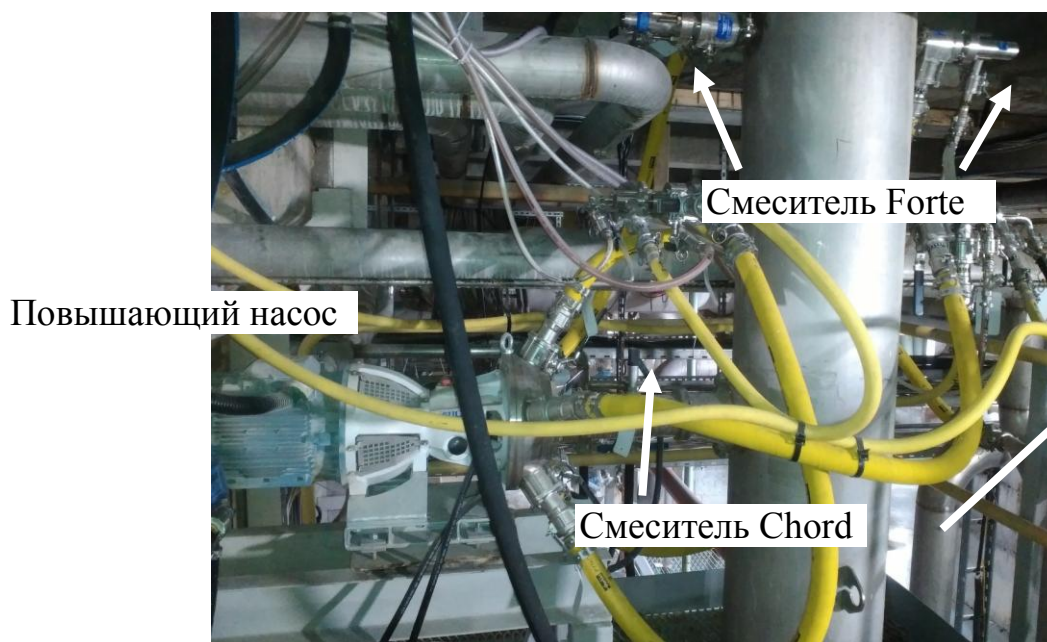


Рис. 2. Система подачи химикатов *TrumpJet Forte/Chord*

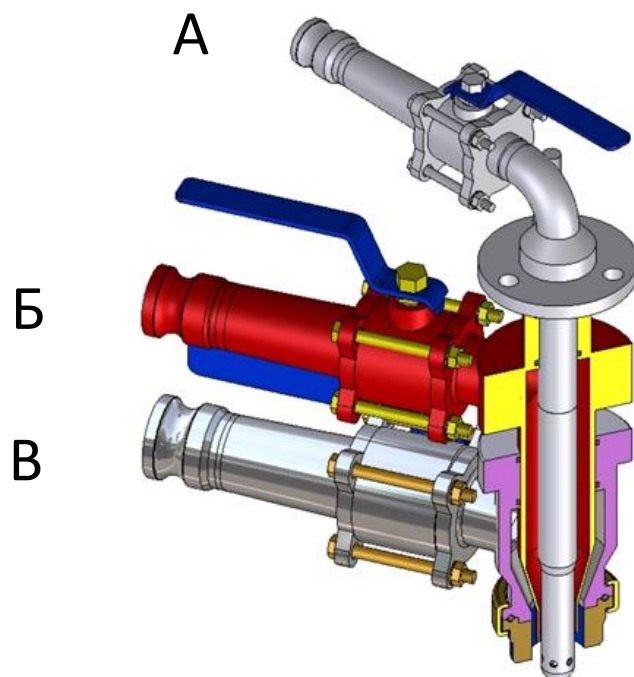


Рис. 3. Общий вид смесителя *TrumpJet* в разрезе

Повышающий насос забирает часть бумажной массы с концентрацией 0,8...1,2 % и возвращает ее в смесители *Forte/Chord* в качестве опорного и инъекционного потока (рис. 3). Таким образом, создается мощный напор, способствующий равномерному и быстрому распределению химикатов в потоке бумажной массы.

Для оценки результатов модернизации гарантийные испытания на БДМ7 были проведены в период с 19 по 21 декабря 2017 года при выработке офсетной бумаги массой 55 г/м<sup>2</sup>. Целевые дозировки химикатов представлены в табл. 1. Целевые показатели качества готовой продукции представлены в табл. 2.

Таблица 1

Целевые и фактические показатели дозировок химикатов

Химикат	Начальная дозировка, кг/т	Целевое снижение, %	Целевая дозировка, кг/т	Фактическое снижение, %	Фактическая средняя дозировка, кг/т
ПАА	0,2	25	0,15	25	0,15
Микрополимер	0,31	10	0,28	10	0,28
Кат. крахмал	7,0	15	6,0	12,9	6,1
АКД	8,0	10	7,2	6,3	7,5

Таблица 2

Целевые и фактические показатели бумаги

Показатели бумаги	До пуска TrumpJet	После пуска TrumpJet	Абсолютное отношение	Процентное отношение, %
Разрывная длина, м	5910	5861	- 49	-1 *
Впитываемость (Кобб <sub>30</sub> ), г/м <sup>2</sup>	24,0	25	1	- 4 *
Удержание волокна, %	69,8	72	2,1	+3 *
Удержание наполнителя, %	38,0	39,9	1,9	+5 *

\* «-» ухудшение, «+» улучшение.

Как видно из таблиц, целевые (сниженные) дозировки удалось достигнуть на химикатах удержания (ПАА и микрополимер), при этом улучшилось удержание: на 3 % волокна и на 5% наполнителя. По АКД и катионному крахмалу на целевые дозировки выйти не удалось, т.к. при снижении дозировок относительно начальных наблюдалось ухудшение показателей качества бумаги по впитываемости (-4%) и разрывной длине (-1%), но было достигнуто снижение АКД на 6,3 % и крахмала 12,9 %.

В табл. 3 представлен расчет экономической эффективности.

Таблица 3

Расчет экономической эффективности проекта

Статья расхода	Расход на 1 т бумаги руб/т до TrumpJet	Расход на 1 т бумаги руб/т с TrumpJet	Экономия (-) / перерасход (+), руб/т
ПАА	50,4	40,0	- 10,4
Микрополимер	80,0	72,3	- 7,7
Кат. крахмал	384,8	335,2	- 49,6
АКД	378,0	354,2	- 23,8
Наполнитель	957,6	818,8	- 138,8
Свежая вода	9,3	0,00	- 9,3
<b>Итого:</b>			<b>- 239,6</b>

Исходя из экономии, полученной при снижении расхода химикатов, лучшего удержания наполнителя и отключения свежей воды на инъекцию, снижение себестоимости продукции составляет 239,6 руб/т. При этом срок окупаемости проекта по модернизации системы подачи химикатов на БДМ7 составит менее 1 года.

#### Список литературы

1. Фляте Д.М. «Технология бумаги». Учебник для вузов. - М.: Лесн. пром-сть, 1988 - 440 с.
2. Иванчин А.В. «Технологический регламент №3 Производства легкомелованных, суперкаландрированных и офсетных бумаг на БДМ №7» - Краснокамск ООО «ЦБК «Кама», 2017 – 348 с.
3. ООО «Макорус», Эффективная технология // «ЦЕЛЛЮЛОЗА. БУМАГА.КАРТОН». – 2013. - №07. – С. 70-73
4. А.В. Кононов, О.Е. Романов, Революционная система смешивания химикатов «TrumpJet» для КДМ/БДМ // «Материалы III Международной научно-технической конференции, посвященной памяти профессора В.И. Комарова «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов». – 2015. - № 3. – С. 111-117
5. Wetend Technologies Oy, Мгновенной смешивание, годы экономии // «PULP & PAPER INDUSTRY» - 2016. - № 1. – С. 80-85

УДК 676

## МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИЕЙ

Пономарев Никита Юрьевич,  
магистрант, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехниче-  
ский университет», г. Пермь, E-mail: [nikitaponomarev\\_1995@mail.ru](mailto:nikitaponomarev_1995@mail.ru)

Широков Александр Аркадьевич,  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический универ-  
ситет», г. Пермь, E-mail: [shirokov@pstu.ru](mailto:shirokov@pstu.ru)

**Ключевые слова:** автоматизированные системы управления, асинхронный двигатель, частотное регулирование.

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы совершенствования системы управления электроприводом насоса канализационной насосной станции. Предлагается заменить систему управления приводом от прямого пуска на частотное регулирование.

## THE MODERNIZATION OF THE AUTOMATED SYSTEM CONTROL OF SEWAGE PUMPING STATION

Ponomarev Nikita Yurievich,  
master student, Perm national research Polytechnic University, Perm,  
E-mail: [nikitaponomarev\\_1995@mail.ru](mailto:nikitaponomarev_1995@mail.ru)

Shirokov Aleksandr Arkadievich,  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Perm national research Polytechnic University, Perm, E-mail: [shirokov@pstu.ru](mailto:shirokov@pstu.ru)

**Key words:** the automated control system, induction motor, frequency control.

**Abstract.** The article deals with the issues of improving the control system of electric pump sewage pump station. It is proposed to replace the direct start drive control system with frequency control.

Современное целлюлозно-бумажное производство потребляет значительное количество воды. Проблема водоотведения решается посредством канализационной насосной станции. Её основная функция заключается в накоплении в резервуарах на территории предприятия и дальнейшей транспортировке сточных вод в городские очистные сооружения. Помимо своей основной функции канализационная насосная станция должна обеспечивать защиту окружающей среды, а сам технологический процесс должен соответствовать требованиям качества производства.

На предприятии ООО «Прикамский картон» в Картонно-бумажном цехе №2 реализована автоматизированная система управления канализационной насосной станцией. В ее состав входят: резервуар для хранения сточных вод, фекальный насос СМ150-125-400/4, асинхронный двигатель АИР225М4.

Существующая система для перекачки стоков в канализационную магистраль использует один насос. Данный центробежный насос приводится в действие при помощи асинхронного двигателя мощностью 55 кВт. Режим работы двигателя - повторно-кратковременный. Объем перекачиваемых стоков - порядка 130 м<sup>3</sup>/ч.

Система управления включает насосы при достижении 80% от объема резервуара. Поскольку объем резервуара составляет примерно 4,5 кубических метра, при номинальном за-

полнении резервуара происходит около 20 включений насоса в час на 1 минуту и паузами между включениями на 1, 5 минуты. Такой режим работы является тяжелым для двигателя насоса. Данная система управления нуждается в модернизации по ряду причин:

- большие пусковые токи двигателя, которые превышают номинальный ток в 6,5-7 раз;
- частый пуск асинхронного двигателя;
- большая перегрузка и частый пуск двигателя сопутствуют выгоранию обмоток и износу подшипников;
- участившиеся случаи переполнения резервуара.

Предлагается модернизация автоматизированной системы управления канализационной насосной станцией за счет замены управления приводом от прямого пуска на частотное регулирование.

Данная модернизация позволит решить обозначенные проблемы, а также добиться лучших показателей системы технологического производства и сэкономить потребление электроэнергии.

Перед тем, как подобрать частотный преобразователь, необходимо определить технические характеристики двигателя и на основании этих характеристик подобрать частотный преобразователь. Технические характеристики двигателя представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики двигателя

Тип	Асинхронный
Номинальная мощность, кВт	55
Номинальное напряжение, В	380
Частота, Гц	50
Номинальный ток, А	110
Номинальная частота вращения, об/мин	1450

К основным параметрам любого электропривода относится его мощность. Именно поэтому преобразователь частоты подбирается исходя из нагрузочной способности. То есть преобразователь должен быть рассчитан на мощность, соответствующую номинальной мощности электродвигателя.

На основе сравнения характеристик нескольких частотных преобразователей между собой сделан выбор в пользу преобразователя частоты ACS550-01-125A-4 фирмы ABB.

Дополнительным аргументом в пользу выбора данного частотного преобразователя является то, что продукция компании ABB хорошо зарекомендовала себя в данном технологическом процессе. Основные технические характеристики преобразователя частоты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные технические характеристики преобразователя частоты

Фирма	ABB
Модель преобразователя	ACS550-01-125A-4
$U_{ном}$ , В	380
$P$ , кВт	55
$I_{ном}$ , А	125
Степень защиты	IP21
Гарантийный срок, мес.	24
Интерфейс связи	RS-485, Modbus RTU
Перегрузочная способность	150% в течение 60 сек. 180% в течение 2 сек.

Использование нового способа управления позволяет создать условия, когда двигатель будет работать в щадящем режиме. Электрический привод будет потреблять 22 кВт, поскольку при частотном регулировании потребляемая мощность снижается с 40 кВт до 18 кВт. Резервная мощность двигателя позволяет ликвидировать проблемы переполнения резервуаров и, соответственно, предотвратить экологические проблемы, а также повысить надежность работы оборудования.

Таким образом, внедрение частотного преобразователя позволит не только улучшить технические показатели системы, но и существенно экономить потребление электроэнергии.

---

УДК 628.617:676.05

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЦБП

Старжинский Валентин Николаевич,  
д-р техн. наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [vns@usfeu.ru](mailto:vns@usfeu.ru)

Совина Светлана Валентиновна,  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [sovinasv@el.ru](mailto:sovinasv@el.ru)

**Ключевые слова:** санитарно-технические нормы, санитарно-гигиенические нормы, ультразвук, инфразвук, шумовой режим.

**Аннотация.** Безопасность труда на производстве определяется, в первую очередь, условиями труда. Доля работников, находящихся под воздействием повышенного уровня шума, ультразвука и инфразвука является очень высокой. Разработанная классификация источников шума позволит четко определить основные направления научных работ в области акустики оборудования ЦБП.

## THEORETICAL AND APPLIED ASPECTS OF INDUSTRIAL NOISE AT PULP AND PAPER ENTERPRISES

Starzhinsky Valentin Nikolaevich,  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [vns@usfeu.ru](mailto:vns@usfeu.ru)

Sovina Svetlana Valentinovna,  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [sovinasv@el.ru](mailto:sovinasv@el.ru)

**Key words:** sanitary-technical norms, sanitary-hygienic norms, ultrasound, infrasound, noise mode.

**Abstract.** Safety at work is determined primarily by working conditions. The proportion of workers affected by noise, ultrasound and infrasound is very high. The developed classification of noise sources makes it possible to clearly define the main directions of scientific work in the field of acoustic equipment at pulp and paper enterprises.



В Российской Федерации сохраняется тенденция роста численности работников, занятых в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормам. В стране практически каждый пятый работник трудится в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормам, а в таком виде экономической деятельности как промышленность, доля такой категории работающих составляет одну треть и более [1].

Среди работников, занятых в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормам, наибольшую долю составляют работающие под воздействием повышенного уровня шума, ультразвука и инфразвука. Доля работников, находящихся под воздействием повышенного уровня шума, ультразвука, инфразвука в 2015 году была наиболее высокой в среднем по промышленности – 39,1%. Это касается и предприятий ЦБП.

Исходя из степени отклонения фактических уровней звука от гигиенических нормативов, условия труда условно подразделяются на 4 класса: оптимальные, допустимые, вредные и опасные (табл.1) [2].

Таблица 1

Классы условий труда в зависимости от уровней шума

Название фактора, показатель, единица измерения	Класс условий труда					
	Допустимый	Вредный				Опасный
	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
	Превышение ПДУ до... дБ/раз (включительно)					
Шум, эквивалентный уровень звука, дБА	≤ПДУ	5	15	25	35	>35

Оптимальные условия труда (1 класс) – условия, при которых сохраняется здоровье работника и создаются предпосылки для поддержания высокого уровня работоспособности. Оптимальные нормативы факторов рабочей среды установлены для микроклиматических параметров и факторов трудовой нагрузки. Для других факторов за оптимальные условно принимают такие условия труда, при которых вредные факторы отсутствуют либо не превышают уровни, принятые в качестве безопасных для населения.

Допустимые условия труда (2 класс) – характеризуется такими уровнями факторов среды и трудового процесса, которые не превышают установленных гигиенических нормативов для рабочих мест, а возможные изменения функционального состояния организма восстанавливаются во время регламентированного отдыха или к началу следующей смены и не оказывают неблагоприятного действия в ближайшем и отдаленном периоде на состояние здоровья работников и их потомство. Допустимые условия труда относятся к безопасным.

Вредные условия труда (3 класс) характеризуется наличием вредных факторов, уровни которых превышают гигиенические нормативы и оказывают неблагоприятное действие на организм работника и/или его потомство.

Вредными условиями труда по степени превышения гигиенических нормативов и выраженности изменений в организме работников условно разделяют на 4 степени вредности:

1 степень 3 класса (3.1) – условия труда характеризуются такими отклонениями уровней вредных факторов от гигиенических нормативов, которые вызывают функциональные изменения, восстанавливающиеся, как правило, при более длительном (чем к началу следующей смены) пребывании контакта с вредными факторами и увеличивают риск повреждения здоровья;

2 степень 3 класса (3.2) – уровни вредных факторов, вызывающие стойкие функциональные изменения, приводящие в большинстве случаев к увеличению профессионально обусловленной заболеваемости (что может проявляться повышением уровня заболеваемости с временной утратой трудоспособности и, в первую очередь, теми болезнями, которые отражаются состоянием наиболее уязвимых для данных факторов органов и систем), появлению начальных признаков или легких форм профессиональных заболеваний (без потери профес-



сиональной трудоспособности), возникающих после продолжительной экспозиции (часто после 15 и более лет);

3 степень 3 класса (3.3) – условия труда, характеризующиеся такими уровнями факторов рабочей среды, воздействие которых приводит к развитию, как правило, профессиональных болезней легкой и средней степеней тяжести (с потерей профессиональной трудоспособности) в периоде трудовой деятельности, росту хронической (профессионально обусловленной) патологии;

4 степень 3 класса (3.4) – условия труда, при которых могут возникать тяжелые формы профессиональных заболеваний (с потерей общей трудоспособности), отмечается значительный рост числа хронических заболеваний и высокие уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

Опасные (экстремальные) условия труда (4 класс) характеризуются уровнями факторов рабочей среды, воздействие которых в течение рабочей смены (или ее части) создает угрозу для жизни, высокий риск развития острых профессиональных поражений в т.ч. и тяжелых форм.

Анализ шумового режима, проведенный на целом ряде предприятий отрасли показывает, что практически на всех производствах имеются рабочие места, где уровни звукового давления превышают регламентируемые ГОСТ 12.1003-83 [3].

Практически на 80% рабочих мест в основных и перерабатывающих производствах класс условий труда по шумовому фактору находится в пределах 3.2...3.4, что говорит о чрезвычайной остроте проблемы борьбы с шумом в отрасли.

Анализ шумовых карт предприятий показал, что в основных цехах имеются ярко выраженные участки с повышенной шумовой опасностью. В залах бумагоделательных и картоноделательных машин ими являются: а) размольный участок; б) зона обслуживания мокрой части в прессовой части; в) рабочая зона у продольно-резательного станка.

В древесно-подготовительных цехах, хотя уровень звукового давления практически по всей площади значительно выше нормативных, по спектральному составу шума можно также выделить зоны: а) зона слешера; б) зона окорочных барабанов; в) зона рубительных машин.

В древесно-массных цехах можно выделить зону молотковых и дисковых мельниц.

В каждой из указанных зон уровни звукового давления определяются шумом одного какого-либо вида оборудования.

Анализ шумовых характеристик оборудования позволяет установить ряд важных факторов:

- шум слешерных установок, рубительных машин и размольного оборудования имеет ярко выраженный широкополосный характер;
- в шуме окорочных барабанов преобладают низкочастотные составляющие;
- в различных частях бумагоделательных машин спектр шума различен: спектр шума вакуум-насосов носит низко - и среднечастотный характер, в остальных частях машин ярче выражены высокочастотные составляющие;
- звуковая энергия оборудования по переработке бумаги также распределена равномерно практически по всему частотному диапазону.

Для выявления источников шума оборудования использовались методы спектрального и корреляционного анализа, методы объемных шумограмм, метод последовательного исключения источников. Большой информативностью в отношении разделения источников шума оборудования обладает также метод изменения режимов его работы. Существуют десятки типов оборудования ЦБП, отличающиеся конструктивным разнообразием, что делает задачу классификации источников шума достаточно сложной. Результаты многочисленных исследований, выполненных в УГЛТУ, позволяют разделить основное технологическое оборудование предприятий ЦБП в зависимости от физической природы преобладающих источников на три группы.

1. Оборудование с ударным возбуждением шума. К этой группе относится оборудование древесно-подготовительных и древесно-массных цехов (рубительные машины, слешерные установки, окорочные барабаны, молотковые мельницы, лотки для перегрузки баланса), в котором ударное нагружение элементов оборудования заложено в технологическом процессе.

2. Оборудование, шумообразование в котором связано с действием вакуума и возникающими при этом аэродинамическими процессами. К этой группе оборудования относятся отсасывающие валы и вакуумные-насосы.

3. Оборудование по переработке бумаги и картона в котором преобладают шумы приводных механизмов, технологических механизмов и бумагопроводящих систем.

Принятая классификация источников шума позволила определить направления работ в области акустики оборудования ЦБП (как существующего, так и разрабатываемого).

### Список литературы

1. Доклад “О реализации государственной политики в области условий и охраны труда в Российской Федерации в 2012 году”. Министерство здравоохранения и социального развития Российской Федерации. М. 2013.- 42 с.

2. Р.2.2.2006-05 Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Постановление главного государственного врача РФ от 29.07.2005.- 127 с.

3. ГОСТ 12.1.003-83 Шум. Общие требования безопасности. М: Издательство стандартов, 1983.- 15 с.

---

УДК 681.5

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА И СНИЖЕНИЯ ТРАВМАТИЗМА НА ЛЕСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

**Костарев Сергей Николаевич,**  
д-р техн., наук, доцент,

**Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации,  
Пермский институт Федеральной службы исполнения наказаний,  
г. Пермь, E-mail: [iums@dom.raid.ru](mailto:iums@dom.raid.ru)**

**Середа Татьяна Геннадьевна,**  
д-р техн., наук, доцент,

**Пермский государственный аграрно-технологический университет  
Российская академия народного хозяйства и государственной службы при  
президенте Российской Федерации. Пермский филиал»,  
г. Пермь E-mail: [iums@dom.raid.ru](mailto:iums@dom.raid.ru)**

**Ключевые слова:** производственный поток, АСУ, лесозаготовительный комплекс.

**Аннотация.** Изучены теоретические основы связывания пространственно-временных материальных потоков предприятия лесоперерабатывающей промышленности и автоматизированной системы принятия решений для повышения производительности труда и снижения травматизма. В основе задачи описания производственного потока лежит уравнение сохранения движения механики сплошных сред. Производственный поток представлен конечномерными базисами, включая мощности оборудования и трудовые ресурсы.

*При пространственно-временном потоке учитываются возмущения типа брак и сбой. Разработано уравнение потока движения на технологическом маршруте. Полученное аналитическое выражение показывает управление потоком с учетом влияния производственного сбоя, работы оборудования и травматизма персонала.*

## **MODELING OF PROCESSES OF INCREASING THE PRODUCTIVITY OF LABOR AND DECREASING TRAUMATISM AT FOREST PROCESSING ENTERPRISES**

**Kostarev Sergej Nikolaevich,**  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Associate Professor,  
Perm Military Institute of the National Guard's Forces of the Russian Federation, Perm Institute of the FPS of Russia, Perm, E-mail: [iums@dom.raid.ru](mailto:iums@dom.raid.ru)

**Sereda Tat'jana Gennad'evna,**  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Associate Professor,  
<sup>2</sup>Perm State Agro-Technological University named after Academician,  
<sup>2</sup>Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration.  
Perm branch, Perm, E-mail: [iums@dom.raid.ru](mailto:iums@dom.raid.ru)

**Key words:** *production flow, automated control system, logging complex.*

**Abstract.** The theoretical basis for linking the spatio-temporal material flows of the timber processing enterprise and the automated decision-making system for increasing labor productivity are studied. At the heart of the task of describing the production flow lies the equation of conservation of motion of the mechanics of continuous media. The production stream is represented by finite-dimensional bases, including equipment capacities and labor resources. With space-time flow, perturbations of the marriage type and failure are taken into account. The equation of the flow of motion on the technological route is developed. The resulting analytical expression expresses flow control, taking into account the impact of production malfunction, equipment operation and personnel injuries.

Технологический процесс лесозаготовки включает множество работ: валку деревьев, трелевку, погрузку. Предприятиям заготовки древесины требуется оснащение высокопроизводительными машинами и оборудованием [1]. Моделирование производственных потоков и ресурсов при изготовлении машин для лесозаготовительного комплекса является актуальной задачей.

Известно несколько форм моделей: балансовые; поточно-непрерывные стационарные; теории расписаний; дискретно-логические и сетевые модели [2]. Балансовая модель производства является одной из наиболее простых моделей. Теория балансовых моделей была сформулирована Леонтьевым В.В. в середине 30-х годов. В основу поточно-непрерывной стационарной модели положена модель заданного пространственно-распределённого пооперационного потока, реализация которого гарантирует выполнение заданных объёмных показателей в течение предусмотренного периода. Модели теории расписаний непосредственно приводят к постановке задачи формирования расписаний выполнения последовательности операций, составляющих технологический маршрут. Рассмотренные выше модели широко распространены в практике построения автоматизированных систем управления. Эти модели относятся к классу «Just in time» [3].

В моделях распределенной динамики ставится задача учёта инерционного запаздывания в выполнении производственных заданий на технологических операциях путём аппроксимации процесса эквивалентными инерционными звеньями. Дискретно-логические модели используются для мелкосерийных типов производств и характеризуются комбинаторным подходом для решения задач распределения ресурсов. При формировании сменно-

суточных заданий выявляется большое количество сочетаний ресурсов. Данный подход не может обеспечить решение поставленной задачи на уровне выше участка цеха.

Сетевые модели используются в сборочно-распределительной системе и представлены в виде графов, вершинами которых являются технологические операции, а дугами представлены перемещения деталей. По характеру формализации объекта моделирования существует два подхода создания моделей: дискретный и непрерывный. Возникновение непрерывного подхода к построению имитационных моделей связано с появлением аналоговых вычислительных машин и их использованием для решения дифференциальных уравнений. Непрерывный подход первоначально применялся для моделирования непрерывных реальных объектов, которые описывались дифференциальными уравнениями.

Непрерывные модели можно разделить на: аналитические; дискретно-непрерывные и стохастические. Аналитические модели включают в себя динамические модели процессов: на базе обыкновенных дифференциальных уравнений; на базе дифференциальных уравнений в частных производных. А также алгебраические модели состояний, которые подразделяются на модели: линейной алгебры; сетевые и систем массового обслуживания. Дискретно-непрерывная форма является усложнённой модификацией аналитической модели, учитывающей факт, что объект управления наблюдается и управляется в определённые дискретные моменты времени.

Стохастические модели – вариант более сложный, но более близкий к реальным процессам. Они позволяют решать задачи с учётом случайных возмущений. Модель алгебры логики – фундаментальный математический аппарат описания дискретно-логических процессов. Они используются для описания сравнительно простых технических устройств.

Алгоритмические модели - форма имитации широкого класса математических и физических объектов на цифровом автомате. Ситуационные и семантические подходы используются в построении экспертных систем. Модели на нечётких представлениях используются в системах искусственного интеллекта и экспертных системах.

При обосновании методов и алгоритмов повышения производительности труда на предприятиях лесозаготовительного комплекса использовались методы системного анализа, общая теория систем, теория автоматического управления, методы математического и имитационного моделирования.

Описание среды проводили исходя из идеи упорядоченно движущихся частиц производственного потока. Рассмотрим движение деталей вдоль оси  $x$ . На отрезке  $[x, x+\Delta x]$ , будет находится  $\Delta n$  материала за время  $\Delta t$  (рис. 1).

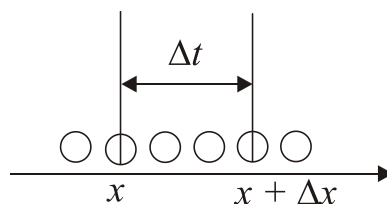


Рис. 1. Движение материала вдоль оси  $x$

Дискретную систему заменим на непрерывную модель [3]. Закон движения материала будет определяться функцией  $n=n(x,t)$  от 2 переменных  $x,t$ . Рассмотрим эту зависимость при  $x=\text{const}$ ,  $t=\text{const}$  и  $x,t=\text{const}$  [4]. При  $x=\text{const}$  переходим к понятию потока, какое количество деталей пройдет за время  $\Delta t$  через фиксированную точку на оси  $x$ :

$$q = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta n_t}{\Delta t} \Big|_x = \frac{dn}{dt} \Big|_x, \quad dn_t = q(t)dt, \quad n = \int_{t_1}^{t_2} q(t)dt \Big|_x. \quad (1)$$

При  $t = \text{const}$  переходим к понятию плотности, какое количество материала находится на отрезке  $\Delta x$  в момент времени  $t$ :

$$\rho = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta n_x}{\Delta x_t} \Big|_t = \frac{dn}{dx} \Big|_t, \quad n = \int_{x_1}^{x_2} \rho(x) dx \Big|_t. \quad (2)$$

При  $x, t = \text{const}$  переходим к понятию скорости, какое расстояние  $\Delta x$  пройдет материал за время  $\Delta t$ :

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \Big|_{x,t}. \quad (3)$$

Нарушение равномерности распределения материала на технологическом маршруте могут быть 2 типов: брак и сбой. При браке часть материала сходит с конвейера, а при сбое происходит нарушение распределения плотности (рис. 2.). Корректировка материального потока заключается в изменении скорости  $v(x, t)$  или интенсивности потока  $q(x, t)$ .

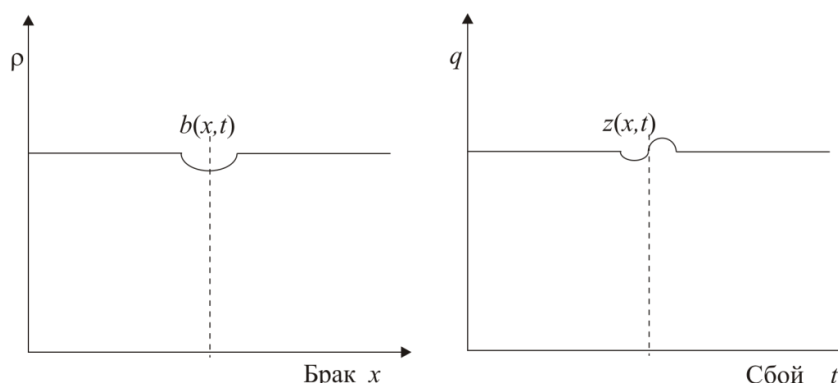


Рис. 2. Нарушение распределения движения материала по технологическому маршруту

Движение материала рассмотрим в трехмерной декартовой системе координат. Выделим интервал с концами, на котором находится порция материала. Ось  $x$  используем для описания состояния материального потока деталей от брака, ось  $y$  для описания состояния потока от сбоя, связанного с работой оборудования и ось  $z$  для описания состояния потока от работы персонала.

Обозначим  $X = (x, y, z)$ ,  $\Xi = (\xi, \eta, \zeta)$ ,  $d^3\Xi = d\xi d\eta d\zeta$ . (4)

Можно предложить следующие аналитические формы законов управления движения материала. Интегральный закон по времени относительно потока:

$$v(x, y, z, t) = -k_{11}(x)k_{12}(y)k_{13}(z) \int_t q(x, y, z, t) dt. \quad (5)$$

Интегральный закон по маршруту относительно плотности:

$$q_1(t) = -k_{21}(x)k_{22}(y)k_{23}(z) \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{z_1}^{z_2} \rho(x, y, z, t) dx dy dz. \quad (6)$$

Практически закон сглаживания функций  $q$ ,  $\rho$  и  $v$ , приближает фактический производственный процесс к желаемому. Если  $\int_t q_1(x, y, t) dt \neq 0$ , значит  $Q \neq q$ , т.е. происходит недо-выпуск или перевыпуск изделий, нужно изменить скорость, чтобы отклонение от потока  $\int_t q_1(x, y, z, t) dt \rightarrow 0$ .

Окончательно имеем систему уравнений, характеризующих состояние объекта в отклонениях от заданного режима и управление объектом с помощью скорости  $v$  или интенсивности потока  $q$ :

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{\partial q}{\partial t} = -\frac{\partial \rho(X,t)}{\partial x} - \frac{\partial \rho(X,t)}{\partial y} - \frac{\partial \rho(X,t)}{\partial z} + b(X,t) & \text{Объект} \\ v(x,y,z,t) = -k_{11}(x)k_{12}(y)k_{13}(z) \int_t q(x,y,z,t) dt & \text{Управление} \end{array} \right. \quad (7)$$

$$x_0 \leq x \leq x_k, y_0 \leq y \leq y_k, z_0 \leq z \leq z_k, t \geq t_0, q(x_0, y_0, z_0, t) = q_0(t),$$

$$q(x_k, y_k, z_k, t) = q_k(t), \rho(x, y, z, t_0) = \rho_0(x, y, z),$$

$$\rho_x = u q_x, \rho_y = v q_y, \rho_z = w q_z.$$

Система уравнений имеет аналитическое решение при известных начальных и краевых условиях, которое может быть получено на основе импульсной функции Дирака [5]. Функция Грина является решением уравнения для рассматриваемой краевой задачи

$$f(x, y, z, t) = \delta(x - \xi) \delta(y - \eta) \delta(z - \zeta) \delta(t - \tau). \quad (8)$$

Рассмотрим вариант скоростей равных нулю при описании плотности потока от сбоя, связанного с работой оборудования и описания плотности потока от травматизма оператора

$$G(x, y, z, t, \xi, \eta, \zeta, \tau) = \frac{\delta(x - \xi - v(x, \eta, \zeta)t)}{4\pi t \sqrt{K_{yy} K_{zz}}} \exp\left[-\frac{(y - \eta)^2}{4K_{yy}t}\right] + \exp\left[-\frac{(z - \zeta)^2}{4K_{yy}t}\right] + \exp\left[-\frac{(z + \zeta)^2}{4K_{yy}t}\right].$$

Для точечного источника потери количества деталей  $N_0$  функция брака опишется:

$$b(x, y, z, t) = N_0 \theta(t) \delta(x - \xi) \delta(y - \eta) \delta(z - \zeta) \delta(t - \tau). \quad (9)$$

Решение для  $q$  имеет вид:

$$q(X, t) = q_0 + \int_0^t d\tau \int_{D_{\Xi}}^{y_2} \partial^3 \Xi G(X, \Xi, t - \tau) + N_0 \theta(\tau) \delta(\xi - x_0) \delta(\eta - y_0) \delta(\zeta - z_0). \quad (10)$$

Проведя интегрирование, получим

$$q(X, t) = q_0 + \frac{N_0 \exp c}{16\pi \sqrt{(K_{xx} K_{yy} K_{zz})}} + \frac{1}{a_+} \left[ \exp(2a_+ b) \operatorname{erfc}\left(\frac{a_+}{\sqrt{t}} + b\sqrt{t}\right) + \exp(-2a_+ b) \operatorname{erfc}\left(\frac{a_+}{\sqrt{t}} - b\sqrt{t}\right) \right] +$$

$$+ \frac{1}{a_-} \left[ \exp(2a_- b) \operatorname{erfc}\left(\frac{a_-}{\sqrt{t}} + b\sqrt{t}\right) + \exp(2a_- b) \operatorname{erfc}\left(\frac{a_-}{\sqrt{t}} - b\sqrt{t}\right) \right],$$

где

$$a_{\pm} = \sqrt{\frac{(x - x_0)^2}{4K_{xx}} + \frac{(y - y_0)^2}{4K_{yy}} + \frac{(z \pm z_0)^2}{4K_{zz}}}, b = \frac{u}{2\sqrt{K_{xx}}}, c = \frac{u(x - x_0)}{2K_{xx}}, \operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty \exp(-u^2) du.$$

Полученное аналитическое выражение выражает состояние потока движения деталей с учетом влияния работы оборудования и травматизма персонала.

Использование модели, направленной на повышение производительности труда и снижения травматизма на предприятиях лесоперерабатывающей промышленности, основанной на методах математической физики, позволило установить связь между непрерывным движением деталей и дискретно-номенклатурными операциями.

Параметры выпуска продукции и незавершённого производства при этом являются непрерывными функциями, зависящими от времени и координаты. Процесс перемещения деталей по технологической линии формализован системой дифференциальных уравнений в частных производных.

### Список литературы

1. Казаков С.В. Лесоперерабатывающие комплексы (Архитектору-проектировщику). – М.: Стройиздат, 1984. – 136 с.

2. Костарев, С.Н. Математическое моделирование бизнес-процесса предприятия / С.Н. Костарев, О.Б. Низамутдинов, Н.М. Беляева: сб. тр. / Перм. ин-т Моск. гос. ун-та коммерции. – Пермь, 1998. – С. 120–137.
3. Dolgova E.V., Faizrakhmanov R.A. Identification of situations at the management of factory material streams // Pribory i Sistemy Upravleniya, 2005. № 5. С. 60–62.
4. Серeda Т.Г. Наукоемкие технологии в проектировании искусственных экосистем хранения отходов / Т.Г. Серeda, Р.А. Файзрахманов, С.Н. Костарев; Перм. филиал Института экономики УрО РАН, Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2006. – 292 с.
5. Костарев С.Н. [Мониторинг безопасности](#) / учебно-методическое пособие. – Пермь, Издательство ПНИПУ, 2015.– 204 с.



УДК 676.05:004.9

**ЭЛЕКТРОННАЯ ПАСПОРТИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ КАК УСЛОВИЕ  
ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ СЛУЖБ ТЕХНИЧЕСКОГО НАДЗОРА  
ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

**Мошев Евгений Рудольфович,**  
д-р техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет», г. Пермь, E-mail: [erm@pstru.ru](mailto:erm@pstru.ru)

**Виноградов Юрий Олегович,**  
студент ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [ura.street-59@mail.ru](mailto:ura.street-59@mail.ru)

***Ключевые слова:** целлюлозно-бумажное производство, оборудование, электронный паспорт, интегрированная информационная среда, база данных.*

***Аннотация.** Дана концепция проблемно-ориентированной системы для осуществления электронной паспортизации оборудования целлюлозно-бумажных производств. Приведена архитектура, а также информационно-вычислительная структура проблемно-ориентированной системы.*

**ELECTRONIC PASSPORTIZATION OF EQUIPMENT AS A CONDITION  
FOR EFFECTIVE OPERATION OF TECHNICAL SUPERVISION SERVICES  
OF PULP AND PAPER PRODUCTION**

**Moshev Evgeny Rudolfovich,**  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Associate Professor  
Perm national research Polytechnic University, Perm, E-mail: [erm@pstru.ru](mailto:erm@pstru.ru)

**Vinogradov Yuriy Olegovich,**  
student of Perm national research Polytechnic University,  
Perm, E-mail: [ura.street-59@mail.ru](mailto:ura.street-59@mail.ru)

***Key words:** pulp and paper production, equipment, electronic passport, integrated information environment, data base.*

***Abstract.** The concept of problem-oriented system for electronic passportization of pulp and paper production equipment is given. The architecture and information-computing structure of the problem-oriented system are given.*

Спецификой целлюлозно-бумажных производств (ЦБП) является использование широкого спектра многопрофильного оборудования, которое согласно общему технологическому назначению можно классифицировать следующим образом [1-3]:

- древесно-подготовительное;
- для варки целлюлозы;
- для приготовления и регенерации щёлоков сульфатцеллюлозного производства;
- для размола;
- для сортировки, очистки и сгущения массы;

- для производства древесной массы;
- для отбелки полуфабрикатов;
- бумаго- и картоноделательные машины.

При этом каждый из указанных выше типов оборудования включает несколько подвидов, например, в оборудование для варки целлюлозы входят: котлы варочные; теплообменники; баки-конденсатоотводчики; дозаторы; питатели; аппараты трубные; выдувные и вымывные резервуары. Переход в неработоспособное состояние любого конкретного вида оборудования приводит к снижению эффективности и рентабельности всего предприятия.

Поддержание работоспособности и надёжности действующего оборудования осуществляется с помощью системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР), которая представляет «Совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества изделий, входящих в эту систему» [4]. Наряду с инструментальными видами работ система ТОиР регламентирует выполнение большого количества организационно-технологических процедур.

В настоящее время указанные процедуры осуществляются преимущественно с использованием разрозненных программных средств, что объективно обуславливает следующие существенные недостатки не только в организации ТОиР, но и в организации процессов жизненного цикла (ЖЦ) оборудования [5]:

- децентрализация информации, следствием которой являются противоречивость и многократное дублирование операций поиска, ввода и обработки одних и тех же данных;
- многократное создание однотипных схем и чертежей на каждом этапе ЖЦ оборудования;
- большое количество рутинных неавтоматизированных процедур обработки информации;
- низкая скорость компьютерного формирования требуемой документации и выполнения необходимых инженерно-технических и организационно-управленческих расчётов;
- сложность обмена данными между субъектами ЖЦ оборудования ЦБП.

Перечисленные недостатки снижают общее качество ТОиР и, как следствие, падают показатели надёжности эксплуатации, промышленной безопасности и экономической эффективности производств [5]. Существующие недостатки можно устранить, если разработать и внедрить проблемно-ориентированную систему (ПОС), обеспечивающую непрерывную информационную поддержку субъектов ЖЦ оборудования ЦБП с помощью интегрированной информационной среды (ИИС) [6-10].

Исходя из сказанного, целью настоящей работы являлась разработка концепции ПОС, обеспечивающей работу пользователей с помощью ИИС (рис. 1).

Базовым информационно-технологическим инструментом предлагаемой ПОС служит электронный паспорт (ЭП). Под ЭП в статье понимаются структурированные паспортно-технические данные по оборудованию, включая топологию (при необходимости), представленные в виде интерактивного электронного документа, который содержит интерпретируемое формализованным способом представление информации, пригодное для коммуникации, интерпретации или обработки [11].

Электронный паспорт можно также назвать электронной моделью изделия, сущность которой рассмотрена в источнике [12]. Наличие ЭП обеспечивает автоматизацию ввода, обработки и синхронизации данных по оборудованию в пределах всего ЖЦ, что устраняет практически все указанные выше недостатки.

Архитектура ПОС должна допускать подключение неограниченного количества функциональных подсистем связанных по радиальной схеме с базой данных (БД) и предусматривать возможность обмена информацией с внешними информационными системами (рис.2). При этом функциональные подсистемы могут разрабатываться и дополняться по мере необходимости на протяжении всего периода существования ПОС.

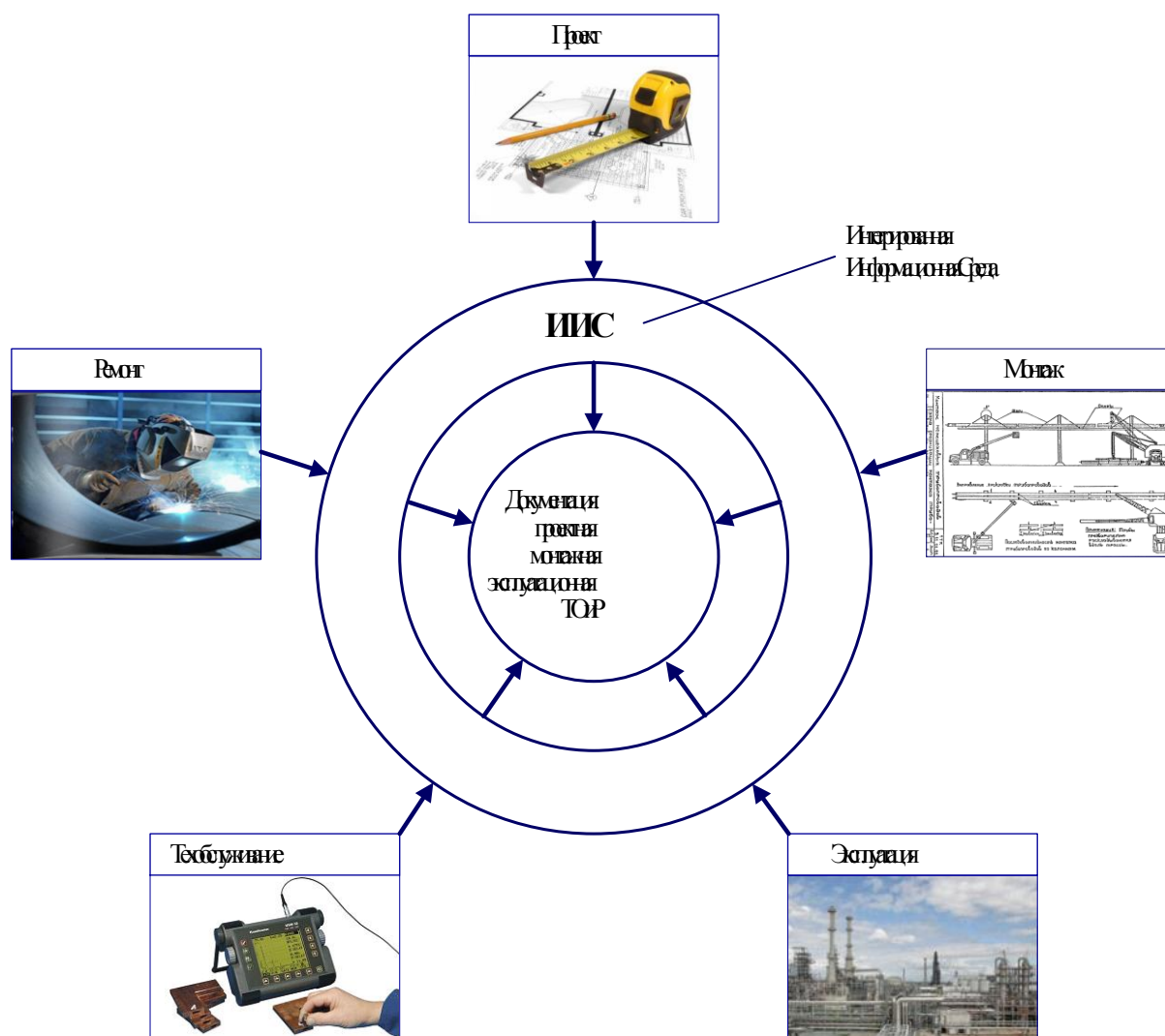


Рис.1. Блок-схема взаимодействия участников жизненного цикла с помощью ИИС

БД проблемно-ориентированной системы состоит из постоянной (нормативной) и переменной частей, где переменная часть содержит ЭП и другие документы, сформированные участниками ЖЦ оборудования.

Информационную организацию вычислительно-сетевой структуры ПОС предполагается осуществить через централизованный сервер БД предприятия (рис.3). Использование централизованного сервера повышает доступность и своевременность предоставляемой информации; исключает противоречивость, искажение и дублирование данных при одновременном обеспечении доступа к программной системе всех пользователей компьютерной сети предприятия. Возможность подключения к серверу предприятия терминального сервера обеспечивает доступ к информации по оборудованию удалённым пользователям.

Для эффективного использования ПОС необходимо наличие встроенного редактора или нескольких редакторов обеспечивающих работу с графическими изображениями трубопроводов, сосудов и машин. Анализ формируемой при ТООР документации показал, что для работы с трубопроводами достаточно использование редактора изометрических схем трубопроводов, для работы с сосудами – редактора трёхмерных схем сосудов, а для работы с машинами могут быть использованы шаблоны изображений, сформированные в любом из рас-

пространённых графических редакторов. Примеры редакторов по трубопроводам и сосудам приведены на рис. 4 и 5.



Рис.2. Принципиальная блок-схема архитектуры программной системы

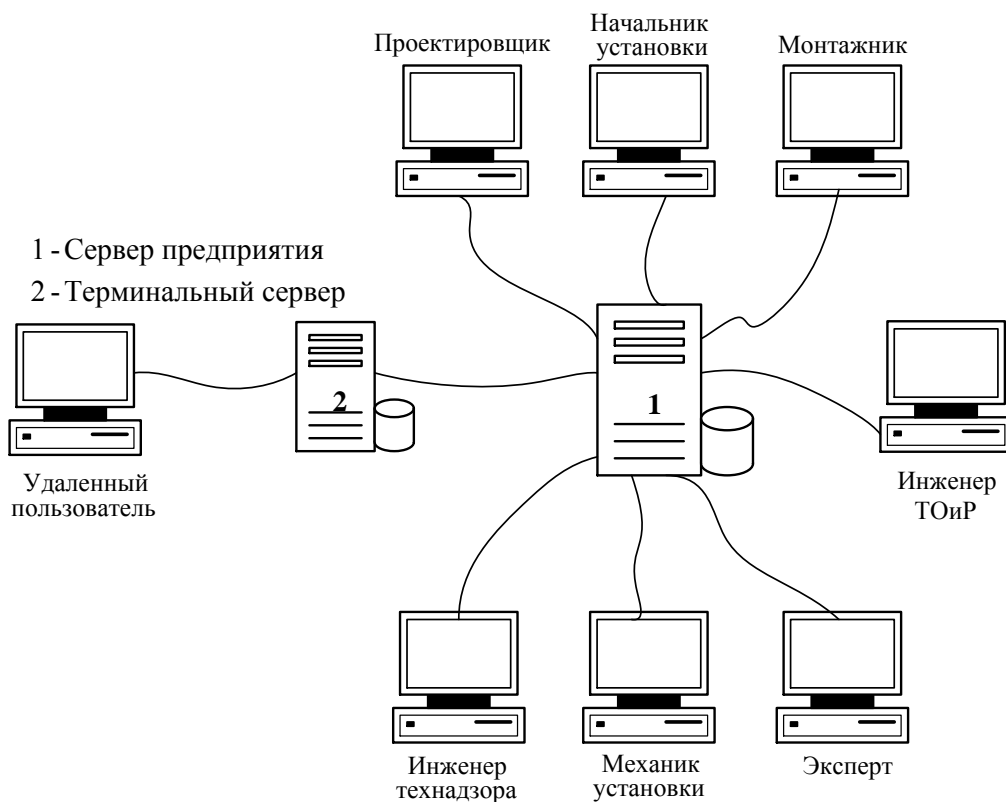


Рис.3. Блок-схема информационно-вычислительной структуры ПОС

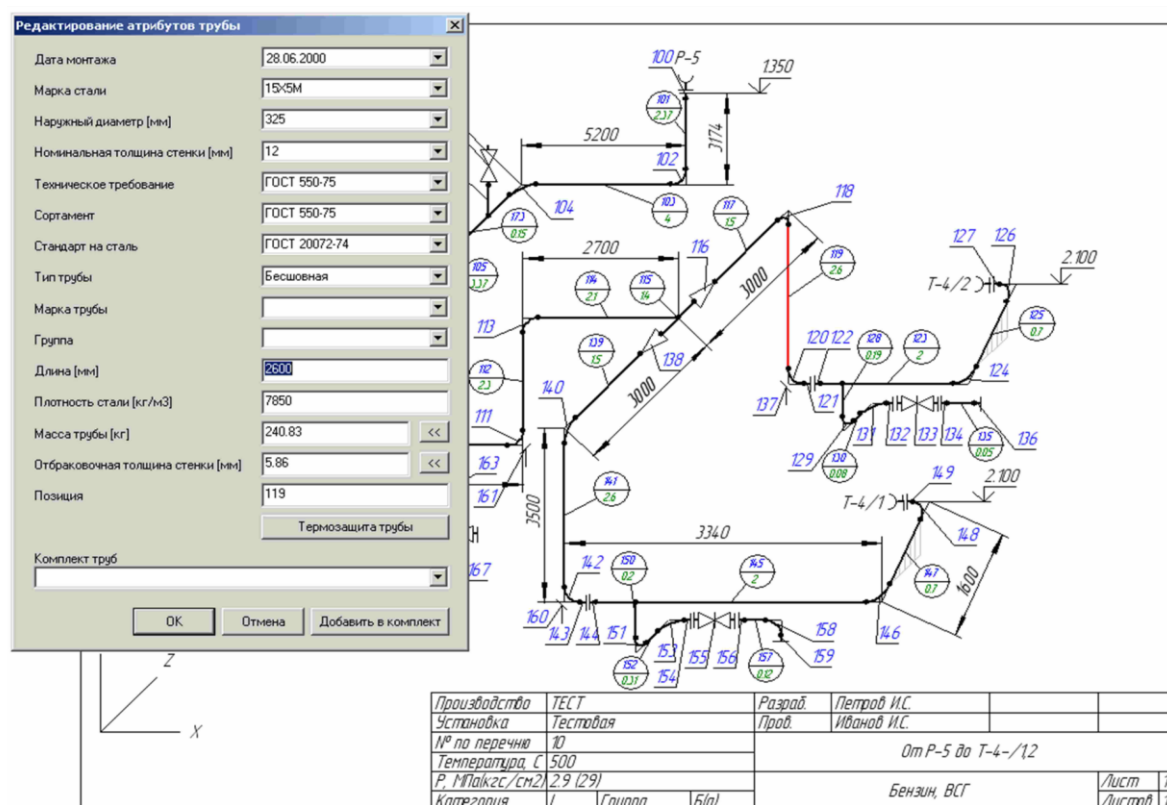


Рис.4. Пример диалогового окна редактора схем трубопроводов

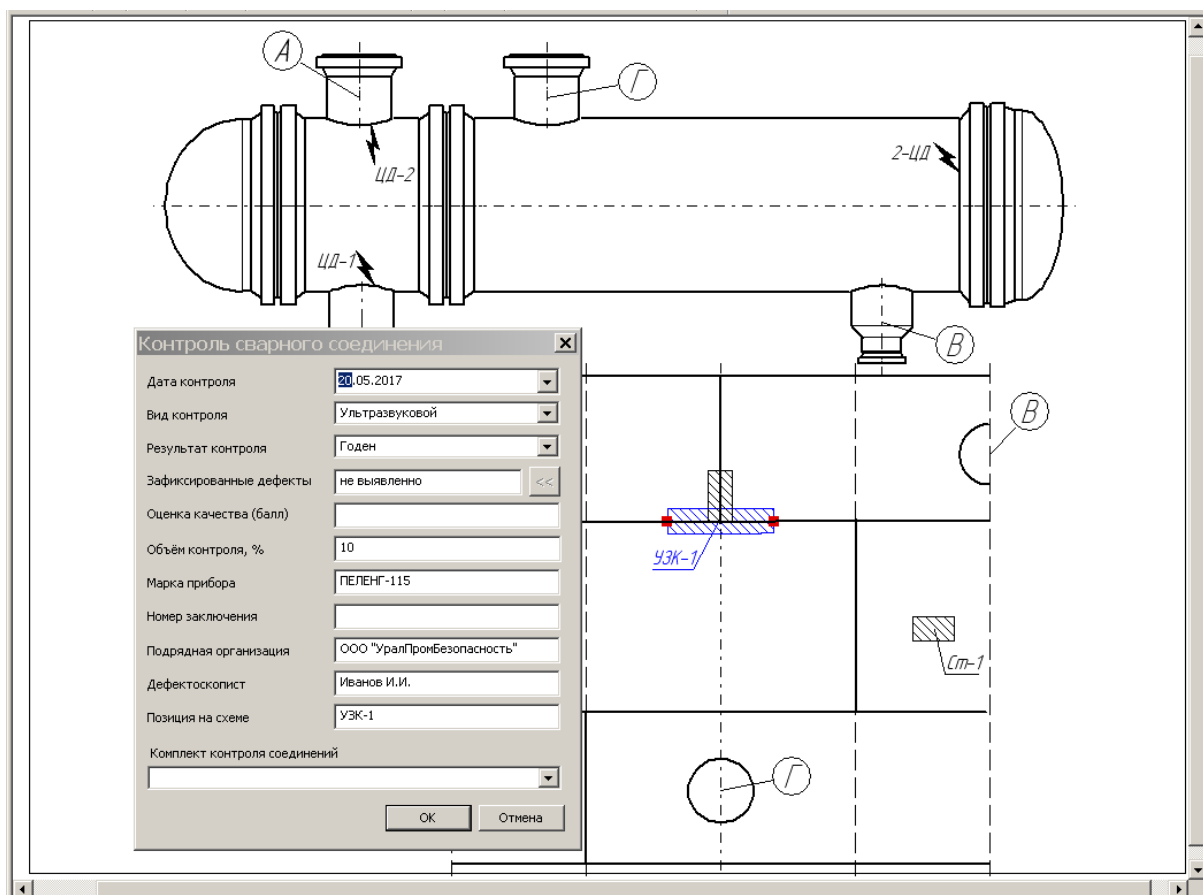


Рис. 5. Пример диалогового окна редактора схем сосудов

Программная реализация концепции ПОС, базирующейся на применении такого ИТ-инструмента как ЭП позволит существенно повысить качество и сократить затраты времени на выполнение организационно-технологических процедур ТООР. Это обеспечит повышение надёжности действующего оборудования, а, значит, и рентабельности целлюлозно-бумажных производств в целом.

### Список литературы

1. Александров А.В., Гаузе А.А., Гончаров В.Н. оборудование ЦБП. Часть I. основное оборудование для производства целлюлозы / СПбГТУРП. – СПб.: 20104. – 90 с.
2. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. В 2-х томах. Т. 1. Оборудование для производства волокнистых полуфабрикатов / В.А. Чичаев, А.А. Васильев, И.А. Васильев и др. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 368 с.
3. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. В 2-х томах. Т. 2. Бумагоделательные машины / В.А. Чичаев, М.Л. Глезин, В.А. Екимов и др. – М., Лесная промышленность, 1981. – 264 с.
4. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. Введ. 01.01.1980. М.: Стандартиформ, 2007. – 12 с.
5. Мошев Е.Р. Информационно-эвристическо-вычислительные модели и алгоритмы принятия решений по интегрированной логистической поддержке трубопроводных систем нефтехимических предприятий: дис. ... докт. техн. наук. М., 2015. – 468 с.
6. ГОСТ Р 53394–2009. Интегрированная логистическая поддержка. Основные термины и определения. Введ. 14.09.09. М.: Стандартиформ, 2010. – 23 с.
7. Егоров А. Ф., Савицкая Т. В. Управление безопасностью химических производств на основе новых информационных технологий. М.: Химия, КолосС, 2004. – 416 с.
8. Мешалкин В.П., Дли М.И. Логистика и управление конкурентоспособностью предприятий нефтехимического комплекса. М.: Химия. 2010. – 452 с.
9. Мешалкин В.П. Логистика и электронная экономика в условиях пере-хода к устойчивому развитию. Москва-Генуя: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. – 573 с.
10. Мешалкин В. П., Мошев Е. Р. Режимы функционирования автоматизированной системы «Трубопровод» при интегрированной логистической поддержке трубопроводов и сосудов промышленных предприятий // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2014. – №1. – С. 64-73
11. ГОСТ Р 52292-2004. Информационная технология. Электронный обмен информацией. Термины и определения. Введ. 29.12.2004. М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. – 15 с.
12. ГОСТ 2.052-2006. Электронная модель изделия. Общие положения. Введ. 31.08.2006. М.: Стандартиформ, 2007. – 12 с.

---

УДК 676.056.5

### ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАССОПОДВОДЯЩИХ СИСТЕМАХ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

**Исаков Сергей Николаевич,**  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: Sergeyisako@ya.ru

**Ключевые слова:** бумажная масса, пульсация давления, качество бумаги.

**Аннотация.** Динамические процессы в массоподводящей системе влияют на качество бумаги при отливе её на бумагоделательной машине. Представлен обзор работ по моделированию некоторого технологического оборудования.

## HYDRODYNAMIC PROCESSES IN PAPER PULP SYSTEMS OF PAPER MACHINES

Isakov Sergey Nikolaevich,

Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [Sergeyisako@ya.ru](mailto:Sergeyisako@ya.ru)

**Key words:** paper weight, pressure pulsation, paper quality.

**Abstract.** Dynamic processes in the mass transfer system affect the quality of paper when casting it on the paper machine. The review of works on modeling of some technological equipment is presented.

Качество бумажной продукции закладывается на всех этапах производства бумаги: древесно-подготовительного, варочного, древесно-массного и бумагоделательного производств.

Качество бумаги определяется качественными показателями и их равномерностью: массы  $1 \text{ м}^2$ , толщины, влажности, разрывной длины, воздухопроницаемости и др. Существует множество факторов, которые влияют на эти показатели: постоянство концентрации и композиции бумажной массы, неравномерный отлив бумажной массы, пульсация давления вакуума на сеточном столе и прессовой части и др.

Большое влияние на качество бумажного полотна имеет массоподводящая система (МПЦ), установленная перед бумагоделательной машиной, которая облагораживает и подводит бумажную массу к напорному ящику. Основные функции МПЦ заключается в следующем: регулирование концентрации и композиции бумажной массы; деаэрация бумажной массы; удаление из бумажной массы загрязнений и узелков; минимизация колебаний давления (пульсаций) в потоке массы; подача стабильной дисперсии массы в напорный ящик; регулирование подачи массы при изменении производительности бумагоделательной машины и др. Для обеспечения этих функций в МПЦ предусмотрены следующие отделы: смешивания и нагнетания, деаэрации, очистки, сортирования и гашения пульсаций. В зависимости от типа вырабатываемой продукции и объемов производства МПЦ могут отличаться расположением оборудования и размерами, а также объединением функций отделов в одном оборудовании. Если при производстве бумаги некоторые её свойства неважны, то из технологии могут исключаться некоторые технологические стадии, отвечающие за эти свойства.

Структуру рассмотрим на примере МПЦ АО «Соликамскбумпром» (рис. 1).

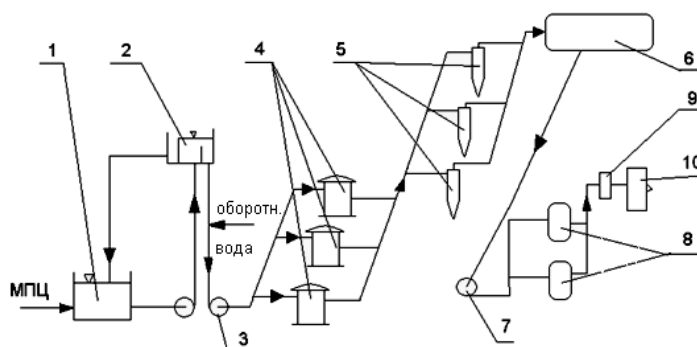


Рис. 1. Схема массоподводящей системы бумагоделательной машины №3 АО «Соликамскбумпром»



Бумажная масса из машинного бассейна 1 подается в бак постоянного уровня 2, из которого перекачивается насосом 3 (марка Z-X 70 V-2) первой ступени очистки в узлоловители 4 (типа УЗ-13). Далее масса поступает в деаэрационный бак 6, через установку вихревой очистки 5 *Твинклинер* 132. Деаэрированная масса транспортируется смесительным насосом 7 (марка Z22-700/700-65 ABS) через напорные сортировки 8 (типа *Центрискрин* 145), гаситель пульсаций 9 в напорный ящик 10.

Функции смешивания и нагнетания выполняют массные и смесительные насосы. Деаэрационный бак удаляет воздух из бумажной массы. Очистка бумажной массы от «тяжелого» мусора, плотность которого больше её плотности, производится на вихревых очистителях. Для перекачки, нагнетания и смешивания с оборотной водой используются смесительные и массные насосы. Для удаления узелков и мусора, плотность которого близка к плотности бумажной массы, установлены машинные сортировки.

Для обеспечения определенного качества бумаги требуется обеспечить равномерный отлив бумажной массы на сеточный стол из напорного ящика. Равномерность скорости струи, истекающей из напорного ящика, зависит от постоянства давления на входе, т.е. минимизации пульсации давления бумажной массы на входе в напорный ящик.

Пульсация давления возникает при работе технологического оборудования: массных и смесительных насосов, сортировок с гидродинамическими лопастями, системы автоматического регулирования массоподводящей системы. При плохом техническом состоянии оборудования пульсации резко возрастают. Но источником пульсаций может быть трубопроводная система в целом, так и отрезки трубопроводов. Причины возникновения пульсации давления могут быть связаны с изменением режима течения жидкости из-за особенностей расположения труб (резкое изменение направления течения жидкости, наличие воздушных «карманов»), погрешностями монтажа и сборки (местные сопротивления: нецентрированная стыковка труб, необработанный шов и другие поверхности), запорной арматуры и т.д.

**Гидродинамические процессы в элементах трубопровода.** Все трубопроводы имеют пространственную схему с поворотами во всех трех измерениях, переходами с одного производственного этажа на другой. Диаметры трубопроводов на различных участках МПС отличаются, что обуславливается необходимостью поддержания определенных скоростей движения бумажной массы. Для регулирования скоростей подачи массы применяются регулирующие устройства (клапаны, задвижки, краны).

При регулировании расхода с помощью задвижек возможны образования турбулентных течений. На рис. 2 представлены поля распределения давлений скоростей при 25% закрытия задвижки. Но при закрытии её на 75 % за задвижкой образуется мощное завихрение (рис. 3).



Рис. 2. Поля распределения скоростей при 25% перекрытии



Рис. 3. Векторное распределение скоростей при 75% перекрытии

При использовании шаровых кранов для регулирования картина распределения скоростей представлена на рис. 4 для закрытия на 25% и на рис. 5 для закрытия 75%.

Также при увеличении угла закрытия, как в самом шаровом кране, так и за ним, возникают турбулентные области. В современных системах регулирование подачи осуществляется регулированием частоты вращения насоса.

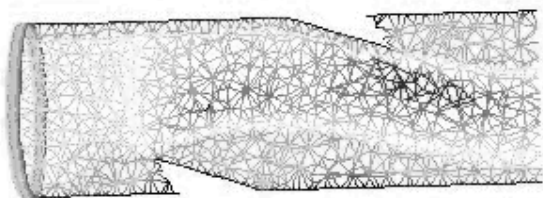


Рис. 4. Поле распределения скоростей в жидкости шарового крана при 25% закрытии



Рис. 5. Векторное представление скоростей элементарных объёмов жидкости

**Гидродинамические процессы в насосах.** Принцип работы центробежных насосов заключается во взаимодействии жидкости с лопастями рабочего колеса. При вращении крыльчатки жидкость в межлопастном пространстве отбрасывается на больший радиус и замещается жидкостью из всасывающей трубы из-за созданного пониженного давления в центральной части. Центробежные лопастные насосы являются источником пульсации, так как воздействие на перекачиваемую среду дискретно. Современные конструкции насосов минимизируют пульсацию путем шахматного расположения наклонных лопастей и полировкой лопастей и другими техническими решениями. Гидродинамика насосов хорошо изучена и представлена соответствующей литературе.

**Гидродинамические процессы в машинных сортировках.** Масса поступает под напором тангенциально внутрь ситового барабана и проходит через отверстия сита. Из аппарата выходит отсортированная масса и отходы. Вращающийся ротор имеет гидродинамические лопасти. Лопасти создают области с повышенным и пониженным давлением. Ниже представлены поле распределения давления (рис. 6) и векторное поле скоростей (рис. 7) в окололопастной области. Они являются источниками пульсации.

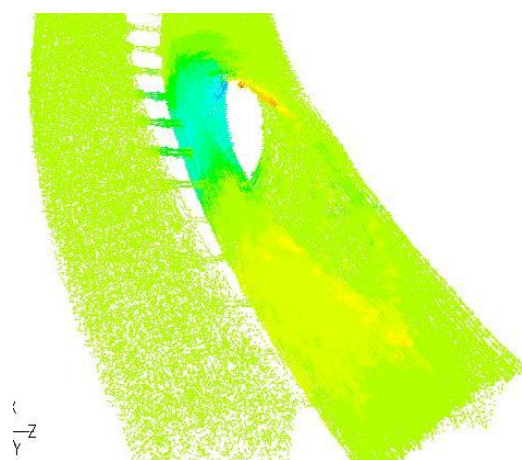


Рис. 6. Распределение давления в окололопастной области

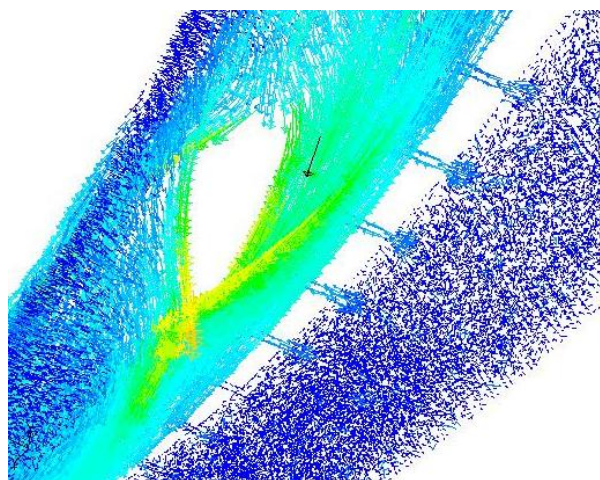


Рис. 7. Векторное распределение скоростей вокруг лопасти

Один из вариантов конструкции для понижения пульсационного воздействия – винтовые лопасти машинных сортировок [1]. А также создаются новые варианты конструкций сит [2].

Одна из причин повышенной пульсации сортировки это неравномерный зазор между лопастями и ситом сортировки. На величину зазора влияют некачественная сборка, колебания ротора, нецилиндричность и несоосность сита и ротора и т.д. Основная причина колебаний роторов - это остаточная неуравновешенность. Модель ротора представлена на рис. 8. Траектории (формы) колебаний, вызванные дисбалансом, зависят от положения ротора в

пространстве и имеют эллипсовидные траектории вращения, причем эллипс несимметричный (рис. 9). Смещение идет в обратную сторону от действия силы натяжения ремней.



Рис. 8. Динамическая и компьютерная модель ротора

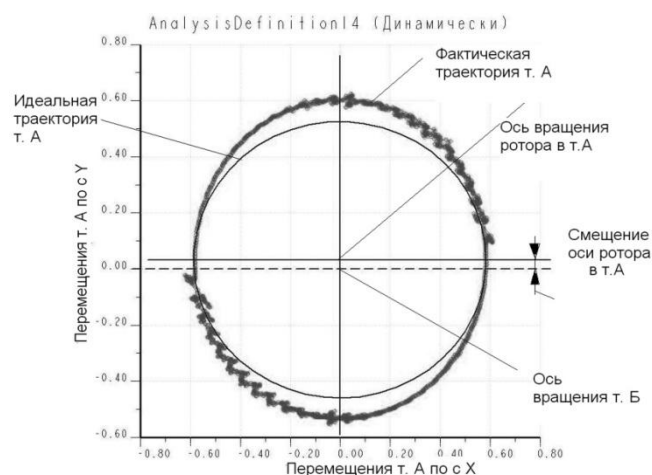


Рис. 9. Траектория ротора движения точек A и B

**Гидродинамические процессы в вихревых очистителях.** Для тонкой очистки бумажной массы в массоподводящей системе используются блоки вихревых очистителей (ВО), которые представляют собой гидросортировки, работающие по следующему принципу. На «инородные частицы» в бумажной массе и элементарные объёмы волокнистой суспензии (волокна и жидкость) действуют силы инерции, тяжести и трения. Под действием сил инерции частицы включений с плотностью большей плотности волокна двигаются по наибольшему радиусу, а с плотностью меньшей плотности волокна, по минимальному радиусу. Под действием силы тяжести и архимедовой силы тяжелые включения опускаются вниз по винтовой линии, а легкие включения - вверх и уходят с восходящим потоком.

Силы инерции вращающегося потока, действующие на корпус циклона, оказываются несбалансированными по ряду причин (отклонение от окружности сечений циклона, трение и турбулентные воздействия на стенки цилиндра, косые удары потока волокнистой суспензии, поступающей по трубе о стенки ВО, гидродинамическая неуровновешенность системы жидкость – корпус ВО), т.е. гидродинамические воздействия являются следствием вращения волокнистой суспензии в ВО. При этом формируется широкополосная случайная нагрузка, действующая на корпус ВО. Поэтому возможно сделать вывод, что гидродинамические воздействия на корпус ВО вызывает вибрацию ВО и их поддерживающих конструкций.

Эффект несбалансированности хорошо видно при сравнении вихревых очистителей с одним входным патрубком (рис. 10) и с тремя (рис. 11) [4].

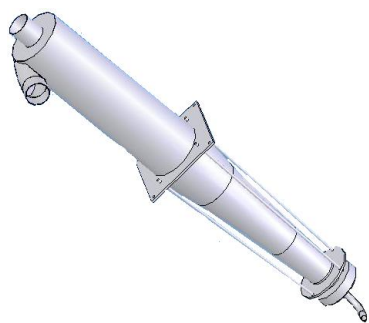


Рис. 10. Модель вихревого очистителя в стреме водными патрубками



Рис. 11. Модель вихревого очистителя в стреме водными патрубками



Несбалансированность выражается в несовпадении центра вращения бумажной массы в вихревом очистителе и оси его корпуса, которое хорошо видно на рис. 12, при трехстороннем подводе бумажной массы гидравлически очиститель более сбалансирован.

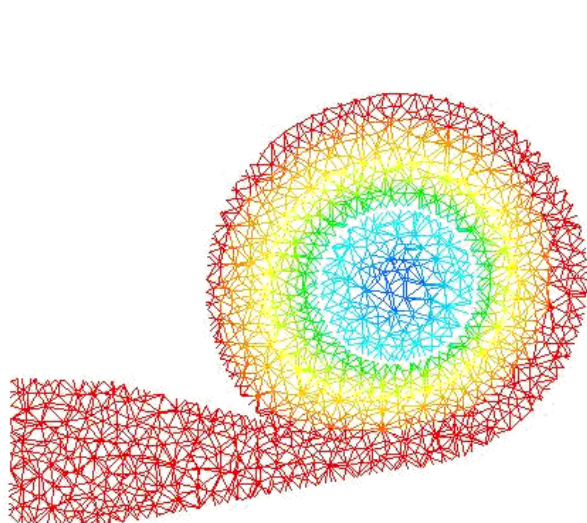


Рис. 12. Поперечное сечение вихревого очистителя по входному патрубку

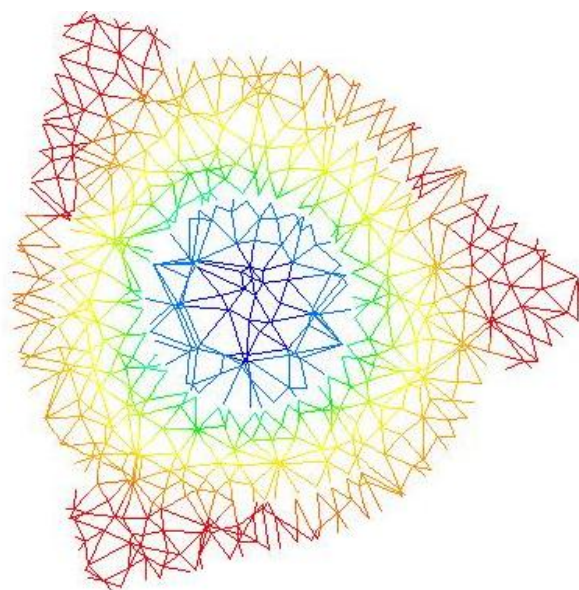


Рис. 13. Поперечное сечение вихревого очистителя по входным патрубкам

Данный эффект приводит не только к шуму и к неравномерному износу корпуса вихревого очистителя, но и к воздействию на корпус вихревого очистителя воздействия в виде «белого шума» с ограниченным частотным диапазоном. Воздействия такого рода вызывают колебания на собственных частотах конструкции. Поэтому в некоторых случаях необходимо исследование динамических характеристик блоков и опорных конструкций вихревых очистителей.

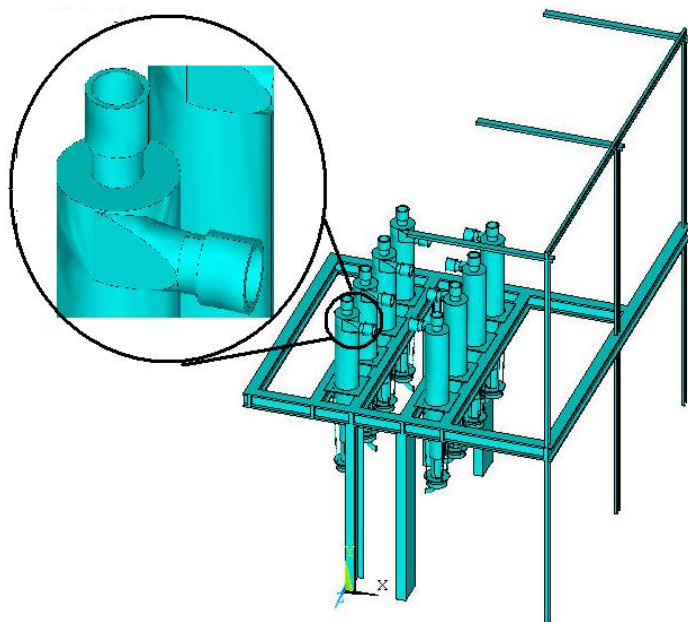


Рис. 14. Модель блока вихревых очистителей для модального анализа

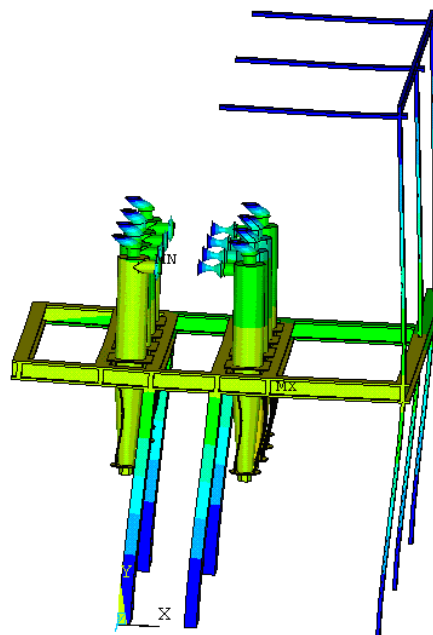


Рис. 15. Первая форма колебания блока вихревых очистителей ( $f_{01} = 28.4 \text{ Гц}$ ).

Для модального анализа необходимо построить твердотельную модель батареи вихревых очистителей с учетом массы жидкости в вихревых очистителях и жесткости элементов конструкции, в том числе присоединительных муфт (рис. 14).

Результаты модального анализа определяют формы и частоты собственных колебаний конструкции, по которым можно определить окolorезонансные интервалы частот. Для примера представлена первая форма колебания на частоте 28,4 Гц (рис. 15).

Исследование гидродинамики вихревого очистителя с одним входом и опорных конструкций подробно представлены автором в [5].

## Список литературы

1. Пат. 86260 РФ, МПК F16F 13/26, D21F 1/00. Ротор гидродинамической сортировки для бумажной массы / Исаков С.Н., Маркин А.А. – 2012109452/12; Заявлено 12.03.2012; Оpubл. 10.09.2012.
2. Пат. 134937 РФ, МПК D21D 5/02. Регулируемое щелевое сито / Исаков С.Н., Сокотов В.А., Меньшиков А.А.. – 2013119945/12; Заявлено 24.04.2013; Оpubл. 27.11.2013.
3. Исаков С.Н.. Колебания вертикальных роторов сортировок бумажной массы / Исаков С.Н., Сокотов В.А. // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке [Электронный ресурс] : электронное научное издание : Сборник трудов II Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием. «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова». – 2013 С. 220-224.
4. Пат. 106903 РФ, МПК D21D 5/24, B04C 3/00. Регулируемое щелевое сито / Исаков С.Н., Куцубина Н.В., Ложкин И.В.. – 2011100228/12; Заявлено 11.01.2011; Оpubл. 27.07.2011.
5. Исаков С.Н. Разработка методов диагностики конструктивных элементов массоподводящих систем бумагоделательных машин: дисс. на соиск. учен. степ. кандидата техн. наук 05.21.03. – Екатеринбург, 2010. – 145 с.

---

УДК 676.021

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «САЛЬНИК-ВАЛ»

Гончаров Александр Алексеевич,  
студент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [gonchar.mex\\_66@mail.ru](mailto:gonchar.mex_66@mail.ru)

Исаков Сергей Николаевич,  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [Sergevisako@ya.ru](mailto:Sergevisako@ya.ru)

**Ключевые слова:** центробежный насос, уплотнение, износ, ресурс.

**Аннотация.** При эксплуатации центробежных насосов сальниковые уплотнения необходимо поджимать, подтягивая нажимную втулку сальниковой камеры. Для увеличения интервала между протяжками сальники перетягивают, что приводит к ускоренному износу уплотнений и вала. Для увеличения срока службы сальников и вала необходимо оптимизировать усилие затяжки нажимной втулки.

**SIMULATION OF THE TRIBOLOGICAL SYSTEM  
«SEAL-SHAFT»**

**Goncharov Alexander Alekseevich,**  
student, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [gonchar.mex\\_66@mail.ru](mailto:gonchar.mex_66@mail.ru)

**Isakov Sergey Nikolaevich,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [Sergeyisako@ya.ru](mailto:Sergeyisako@ya.ru)

**Key words:** centrifugal pump, seal, wear, resource.

**Abstract.** During operation of centrifugal pumps, the oil seal must be preloaded by pulling the pressure sleeve of the oil seal chamber. To increase the interval between the broaches, the seals are pulled, which leads to accelerated wear of the seals and the shaft. To extend the service life of the seals and shaft, optimize the tightening force of the pressure bushing.

В целлюлозно-бумажном производстве (ЦБП) используется большое количество воды, так, для изготовления 1 кг бумаги расходуется около 300 л воды. Но большая часть этого количества – это оборотная вода, которая находится в замкнутом технологическом цикле. Насосно-трубопроводная система в ЦБП – это разветвленная система для перекачки оборотной воды, бумажной массы и химикатов, в которой используется большое количество насосов. В большей массе они центробежного типа.

От технического состояния насосов зависит работоспособность всей системы. Наиболее частым дефектом у центробежных насосов является течь сальниковых уплотнений (рис.1), которая может возникать из-за износа сальников или (и) вала в месте сопряжения с сальником (рис.2).

Течь сальникового уплотнения приводит не только к разливу жидкости около насоса и к повышенному расходу сырья, так как товарное волокно уходит в канализацию через протечки, но и к преждевременному выходу насоса из строя из-за попадания перекачиваемой жидкости в подшипниковые узлы.



Рис. 1. Течь сальниковых уплотнений



Рис. 2. Выработка в местах  
установки сальников

Наиболее распространены в насосах четыре вида уплотнений: сальниковые (рис. 3а), манжетные (рис. 3 б) и торцевые (рис. 3 в) и лабиринтные.

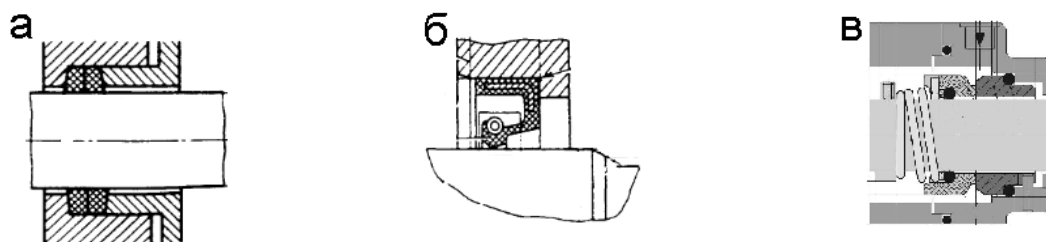


Рис. 3. Виды уплотнений: а – сальниковые, б – манжетные, в – торцевые

Сальниковые (набивные) уплотнения представляют собой набивные кольца из волокнистого материала, находящиеся в сальниковой камере.

Манжетные уплотнения выполнены из эластичного материала, который может быть армирован для придания дополнительной жесткости.

Торцевые (сильфонные) уплотнения состоят из пары колец, установленных на вал рабочего колеса и плотно прилегающих друг к другу. Одно из них вращается вместе с валом рабочего колеса, а другое остается неподвижным. Неподвижное кольцо непосредственно прилегает к корпусу насоса, место стыка герметизировано кольцом из эластомера. Торцевые уплотнения хороши тем, что обеспечивают меньшие утечки, способны работать при более высоких температурах, давлениях и с более агрессивными средами.

Для прогнозирования долговечности работы насосов необходимо рассчитывать износ в сопряжении вала с уплотнением. Ниже представлены факторы, влияющие на износ (рис.4), которые представлены в виде диаграммы Исикавы [1].

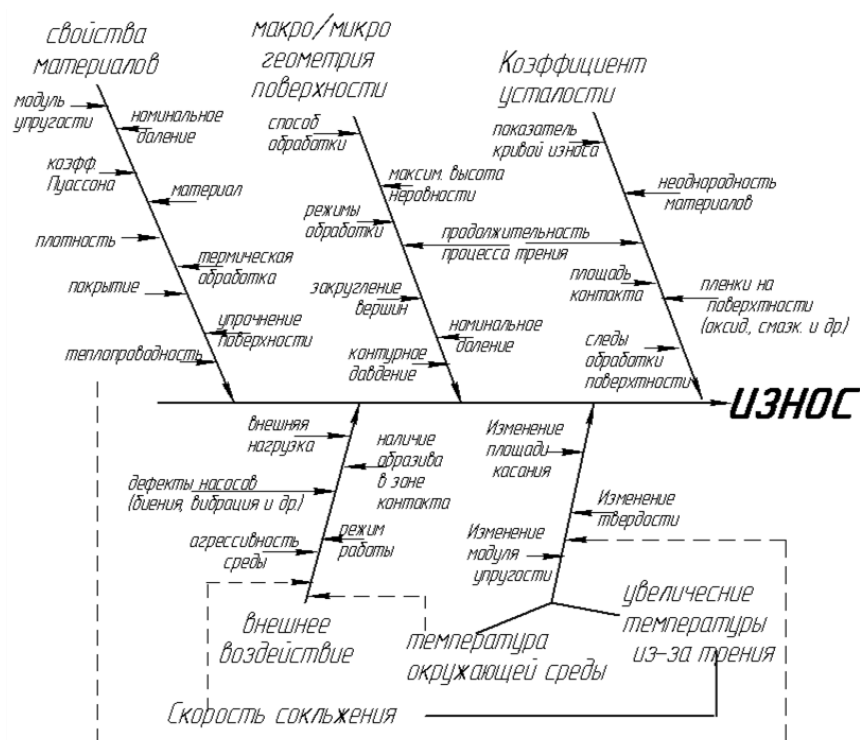


Рис. 4. Диаграмма влияния факторов на износ

Узел уплотнения вала и сальниковой набивки принят трибологической системой «вал-втулка», в основу которой заложен степенной закон изнашивания [2]. Скорость изнашивания определяется по зависимости (1):

$$\gamma_{\Sigma} = (I_{h1} + I_{h2}) \cdot V_{ск} = (A_1 \cdot P_x^{B1} + A_2 \cdot P_x^{B2}) \cdot V_{ск}, \quad (1)$$



где  $I_{h1}$  и  $I_{h2}$  – интенсивность изнашивания вала и сальника соответственно;

$V_{ск}$  – скорость скольжения;

$P_x$  – радиальное давление сальника на вал;

$A$  и  $B$  – коэффициенты регрессии, которые зависят от материалов вала и втулки, а так же от вида смазки.

Интенсивность изнашивания – величина обратно пропорциональная показателю износостойкости [3]:

$$I_h = \frac{1}{H}, \quad (2)$$

где  $H$  – показатель износостойкости.

Интенсивность изнашивания можно выразить отношением количества изношенного материала к пути износа [4]:

$$I_h = \frac{\Delta h}{\Delta L}, \quad (3)$$

В процессе работы на уплотнение действует давление (4), с которым оно прижимается к валу [5]:

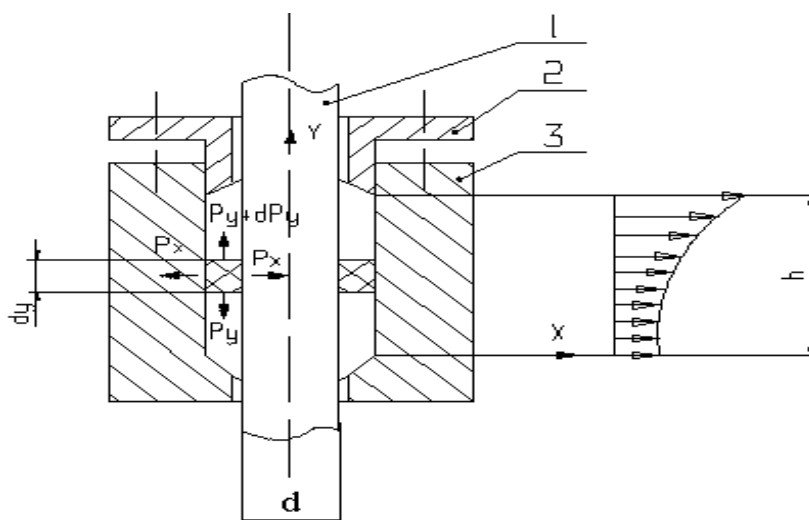


Рис.5. Схема распределения усилий в сальнике: 1 - вал; 2 - нажимная втулка; 3- корпус

$$P_x = \frac{1}{m} \cdot P_p \cdot e^{(2 \cdot f \cdot \frac{h}{s})}, \quad (4)$$

где,  $P_p$  – давление среды;

$m$  – коэффициент, зависящий от материала набивки, давления и интервала рабочих температур;

$f$  – коэффициент трения при вращении вала,  $f = \mu_{тр}/m$ ;

$\mu_{тр}$  – коэффициент трения набивки о вал;

$s$  – толщина набивки,  $s = (D - d)/2$ .

Проверка расчетного ресурса  $t$  производится по следующему условию (5):

$$t = \frac{[\Delta h]}{\gamma_{\Sigma}} > T \cdot n, \quad (5)$$

где  $[\Delta h]$  – допустимый износ;

$T$  – требуемый ресурс;

$n$  – коэффициент запаса по ресурсу, который учитывает возможные изменения условий контактирования и свойств материалов за время эксплуатации сопряжения,  $n = 1,2 \dots 1,5$ .

Моделирование трибологической системы производим в программе инженерных расчетов, которая основана на методе конечных элементов [6]. В программу импортируется 3D модель уплотнительного узла, построенная в программе *Компас*. Для упрощения расчета построен только сегмент вала, кольца уплотнения и корпуса насоса (рис. 6.). Строится конечно-элементная модель нанесением конечно-элементной сетки, которая состоит из четырех узловых тетраэдерных элементов (рис. 7).

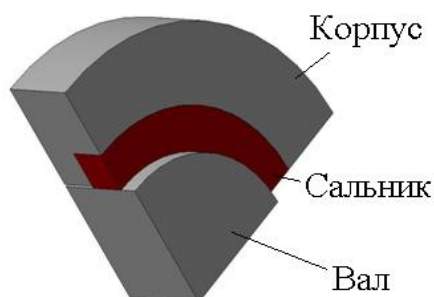


Рис.6. Твёрдотельная модель «корпус насоса-сальник-вал»

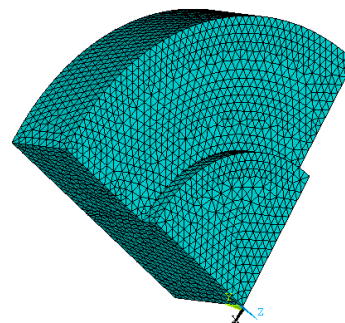


Рис.7. Конечно-элементная модель

Весь расчет можно разбить на три этапа (три шага нагружения).

На первом этапе назначается время первого шага нагружения, задаётся угловая скорость вращения вала, указываются контактные поверхности и трение на них. Модель закрепляется и производится промежуточный расчет. Модель изнашивания активизируется, но интенсивность изнашивания задается равная нулю, т.е. износа не происходит.

На втором этапе назначается время второго шага нагружения, задаются осевое давление на сальник, интенсивность изнашивания для стали и для сальника. Проводится промежуточный расчет.

На третьем этапе указывается время износа и проводится окончательный расчет. Результаты расчета износа можно оценить по полям перемещения и напряжений. Качественно картины износа сальника и вала представлены на рис. 8 и 9. Для лучшей визуализации износ сильно масштабирован.

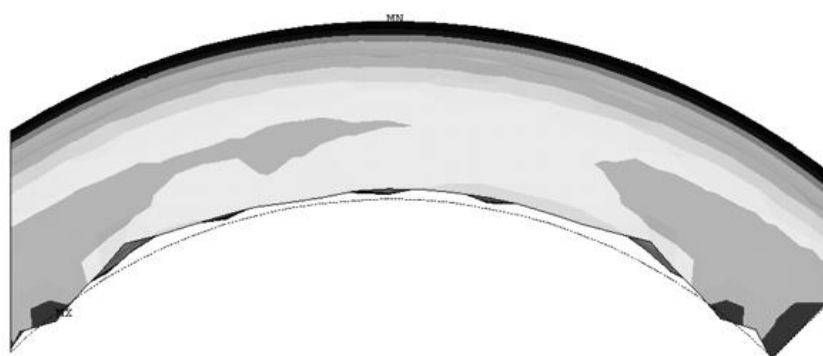


Рис.8. Характер износа сальника



Рис.9. Характер износа вала под сальником

Далее в модели планируется учесть нагрев при трении и отвод тепла в окружающую среду.

Количественно произвести расчет возможности пока нет, так как требуется определить интенсивности изнашивания сальника и вала при реальных условиях (самосмазывание бумажной массой, наличие загрязнений, внешних температурных воздействий, изменение осевой силы и др.).

### Список литературы

1. Крагельский, И. В. Трение и износ / И. В. Крагельский. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
2. Инженерная трибология: оценка износостойкости и ресурса трибосопряжений. Учебное пособие для студентов специальности 170515 / РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковский институт; Б.П. Сафонов, А.В.Бегова. - Новомосковск: Изд-во Новомосковского института, 2004. - 66 с.
3. Р 50-95-88. Рекомендации. Обеспечение износостойкости изделий. Основные положения. –М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. – 24 с.
4. Надежность машин. Трибология и триботехника в оборудовании лесного комплекса: учеб. Пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 1504.05(170400) «машины и оборудование лесного комплекса»/ А.А. Санников, Н. В. Куцубина, А. М. Витвинин; Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург: [УГЛТУ], 2006. – 145 с.
5. Лекции по МАХН. Расчет сальниковый уплотнений. URL:/http://macp.web.tstu.ru/02/02\_010\_01.html (дата обращения 5.03.2018).
6. Кузнецов, В.В. Моделирование износа в пакете ANSYS/ В.В. Кузнецов, В.Н. Водяков, М.В. Артамонов// Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: межвузов. сб. науч. тр. / редкол.: Сенини П.В. [и др.] – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2016. С. 431 - 439.

УДК 676.026

## ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПЕРФОРИРОВАННОЙ ПЛИТЫ ГАСИТЕЛЯ ПУЛЬСАЦИИ БУМАЖНОЙ МАССЫ

Вассин Георгий Юрьевич,  
студент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [vassingoga@vandex.ru](mailto:vassingoga@vandex.ru)

Исаков Сергей Николаевич,  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [Sergevisako@ya.ru](mailto:Sergevisako@ya.ru)

**Ключевые слова:** пульсация давления, гаситель пульсации, бумажная масса.

**Аннотация.** Рассмотрены источники пульсации в массоподводящей системе бумагоделательной машины. Описаны типы гасителей пульсации и представлена методика компьютерного расчета элементов гасителей пульсации.

## HYDRODYNAMIC CALCULATION OF A PERFORATED PLATE OF THE PULSATION DAMPER OF PAPER PULP

Vassin Georgy Yuryevich,  
student, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [vassingoga@vandex.ru](mailto:vassingoga@vandex.ru)

Isakov Sergey Nikolaevich,  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [Sergevisako@ya.ru](mailto:Sergevisako@ya.ru)

**Key words:** pressure pulsation, a pulsation damper, paper pulp.

**Abstract.** The sources of pulsations in the mass transfer system of a paper machine are considered. Describes the types of vibration pulsation and presents a methodology of the computer calculations of the elements of the dampers pulsation.

Бумажный лист формируется на сеточной части бумагоделательной машины. Один из факторов, определяющих равномерность свойств листа – это равномерность отлива, которая зависит от постоянства скорости напуска. Обеспечение равномерного напуска – это одна из функций массоподводящей системы (МПС), которая располагается до бумагоделательной машины.

В массоподводящей системе (рис. 1) в основном потоке последовательно установлено технологическое оборудование: насосы (поз. 2 и 6), машинные сортировки (поз. 3 и 7), вихревые очистители (поз. 4), деаэратор (поз. 5) и гаситель пульсаций (поз. 8), которые соединяются трубами с установленными задвижками. Конструктивно МПС - это пространственная трубопроводная система с поворотами труб во всех трех направлениях и перепадами высот до двух десятков метров.

Все оборудование МПС виброактивно и (или) является источниками пульсаций давления даже в бездефектном состоянии, а наличие дефектов усиливает это отрицательное воздействие.

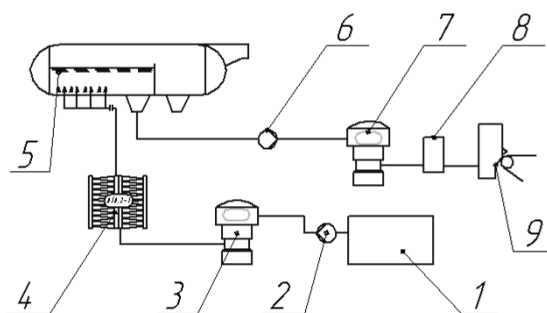


Рис. 1. Принципиальная схема МПС: 1- машинный бассейн; 2, 6 – насосы; 3, 7 – напорные сортировки; 4 – вихревые очистители; 8 – гаситель пульсации; 9 – напорный ящик

Пульсация давления имеет акустическую природу и распространяется по трубопроводу в виде продольных волн в бумажной массе. Акустические волны от предыдущего оборудования, проходя через последующее, могут ослабляться или усиливаться, накладываясь на вновь образующиеся. Доходя до напорного ящика, пульсация давления изменяет скорость вытекания бумажной массы из напускной щели, что и вызывает неравномерность отлива [1].

Для уменьшения пульсации давления перед напорным ящиком устанавливается гаситель пульсации. Существует несколько типов гасителей пульсации: абсорбционные (рис. 2), интерференционные (рис. 3), гидропневматические (рис. 4) и др. [2].

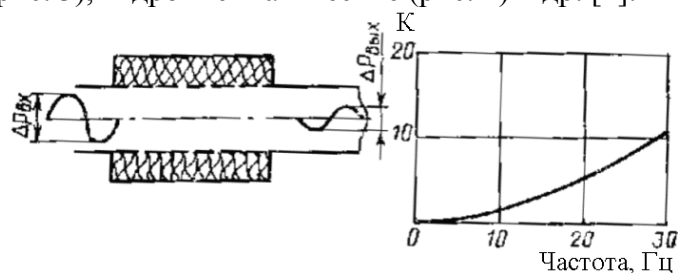


Рис.2. Абсорбционный гаситель пульсации давления

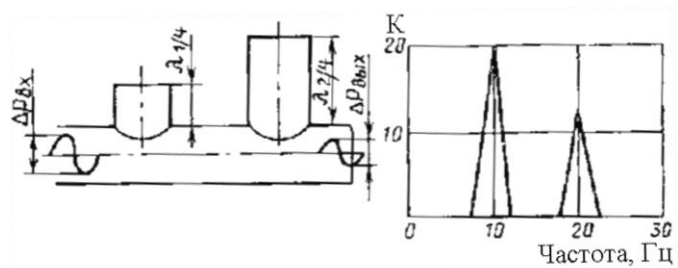


Рис.3. Интерференционный гаситель пульсации давления

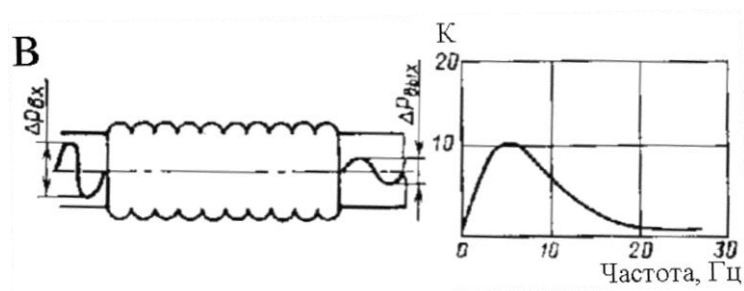


Рис. 4. Гидропневматический гаситель пульсации давления

Гасители различаются по способу уменьшения пульсации давления: рассеивание энергии пульсации (абсорбционные), наложении волн со сдвигом фаз (интерференционные), а также гидропневматические. Отдельно можно выделить гидродинамические, которые перераспределяют энергию пульсации в потоке. Современные гасители используют комбинированные гасители (совмещение нескольких типов). Справа от рисунков представлены графики зависимости коэффициента ослабления пульсации от частоты пульсации. Коэффициент ослабления пульсации рассчитывается как отношение пульсации давлений на входе и на выходе.

В реальной массоподводящей системе каждый источник может давать возмущения на нескольких частотах. Пульсационное воздействие, приходящее к гасителю пульсации, представляется в виде суммарного воздействия всех источников на широком диапазоне частот. На рис. 5 представлен спектр вибрации напорного ящика, который косвенно отражает частотный состав пульсационного воздействия. Источниками возмущений являются машинные сортировки (поз. 1), смесительный насос (поз. 2), вихревые очистители (поз. 3).

Верхним пределом частот возмущений, которые могут повлиять на качественные показатели бумаги, указывается, в различных источниках, от 20 до 100 Гц [3-6]. «Волны» на сеточном столе, образованные пульсацией давления свыше верхней границы, успевают растечься на «зеркале залива».

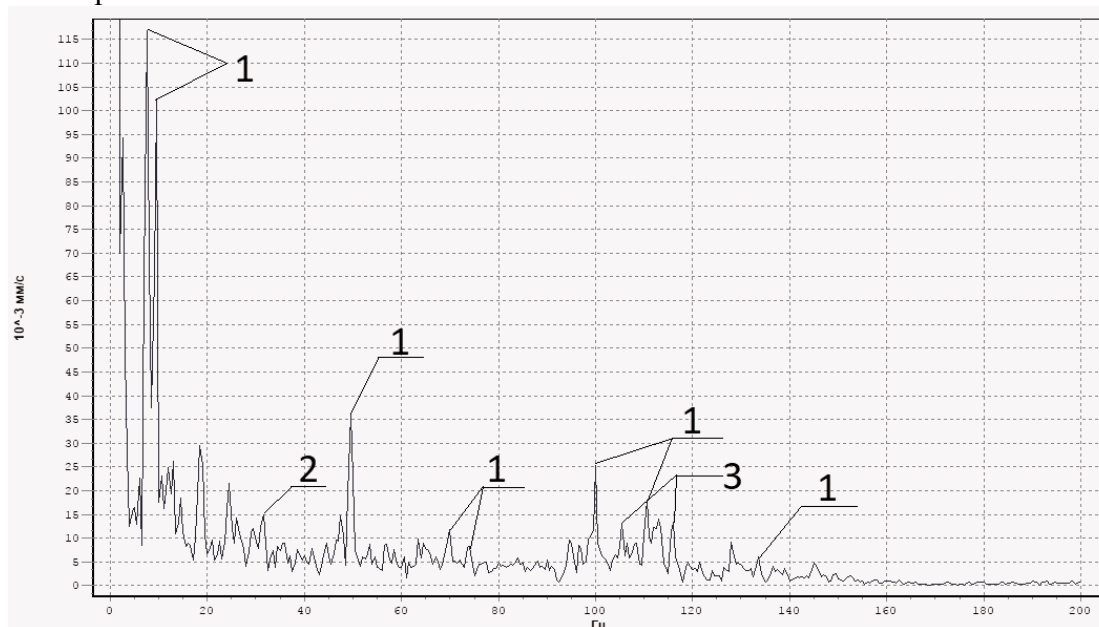


Рис. 5. Спектр вибрации корпуса напорного ящика. Источники вибрации: 1 – машинные сортировки, 2 – смесительный насос, 3 – вихревой очиститель

При анализе работы гасителей интерференционного типа видятся две основные проблемы. Во-первых, например, при частоте возмущения 10 Герц, длина акустической волны в бумажной массе составит порядка 100 м, т.е. четвертьволновый гаситель должен быть суммарной длиной волновода 25 м, что в стесненных условиях цеха сложно воплотить. Во-вторых, при широкополосном возбуждении четвертьволновый гаситель может усиливать волны на определенных частотах, то есть гаситель работает только на узкой полосе частот.

Абсорбционные гасители переводят энергию колебаний в тепловую и рассеивают её в окружающую среду и эффективно гасят только высокочастотные пульсации [2].

Гидропневматические гасители переводят энергию пульсации в энергию сжатия, а также работают по принципу акустического резонатора [2].

Гидродинамический способ гашения не нов, в напорных ящиках устанавливаются перфорированные плиты. Роль перфорации заключается в уменьшении пульсации давления,

выравнивании потока и разбивки узелков волокон. Это происходит из-за того, что жидкость, проходя через отверстие меньшего диаметра, ускоряется и, после его прохождения, резко расширяется в отверстии большего диаметра. Из-за острой кромки происходит срыв потока и его турбулизация, перемешивание. Далее по течению завихрения ослабевают, и при выходе поток успокаивается. При турбулизации происходит перераспределение энергии колебаний давления (пульсации), и давление выравнивается по объему.

Методика аналитического расчета степени гашения и объема воздушной камеры в полной мере описана профессором Терентьевым О.А. [2].

Для определения параметров течения бумажной массы через перфорированную плиту создадим твердотельную модель жидкости около перфорированной плиты, которая представлена на рис. 6.

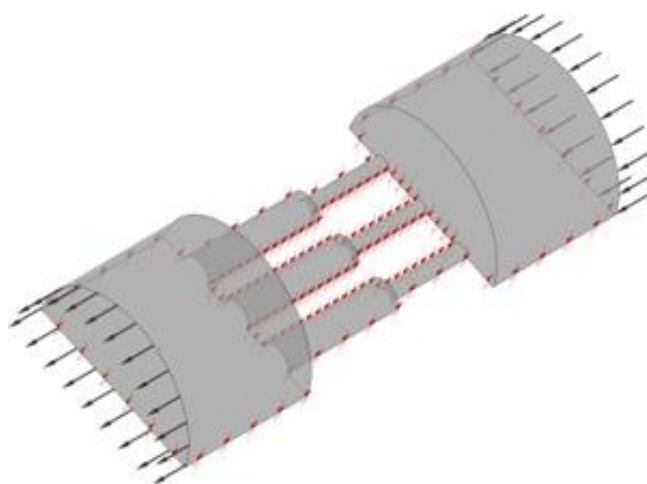


Рис. 6. Твердотельная модель жидкости

Расчет модели проводился в программе инженерных расчетов. При задании свойств жидкости, граничных условий произведен расчет. Результаты расчетов течения жидкости через перфорированную плиту представлены на рис. 7-13.

Векторные картины распределения скоростей представлены на рис. 8, а его фрагмент – на рис. 9. Линии тока движения скоростей представлены на рис.10, а их фрагмент – на рис. 11. Объемные картины распределения скоростей и давлений представлены на рис. 12 и 13 соответственно.

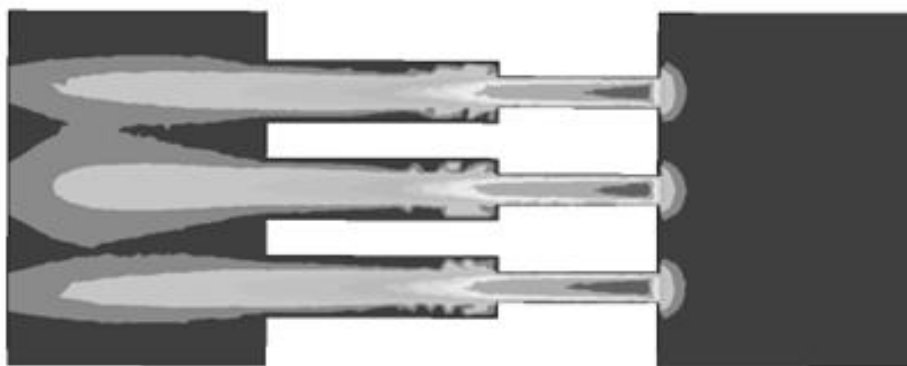


Рис 7. Поле распределения скоростей массы около перфорированной плиты



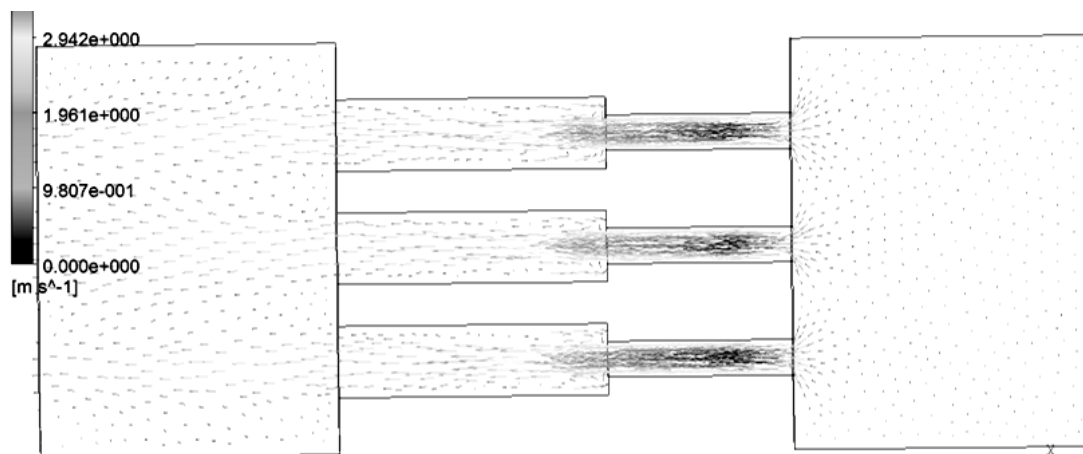


Рис. 8. Векторная картина распределения скоростей жидкости бумажной массы

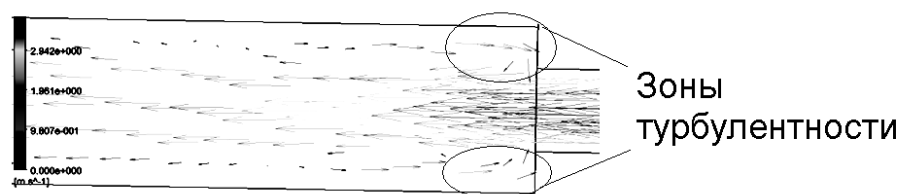


Рис. 9. Фрагмент векторной картины распределения скоростей жидкости бумажной массы

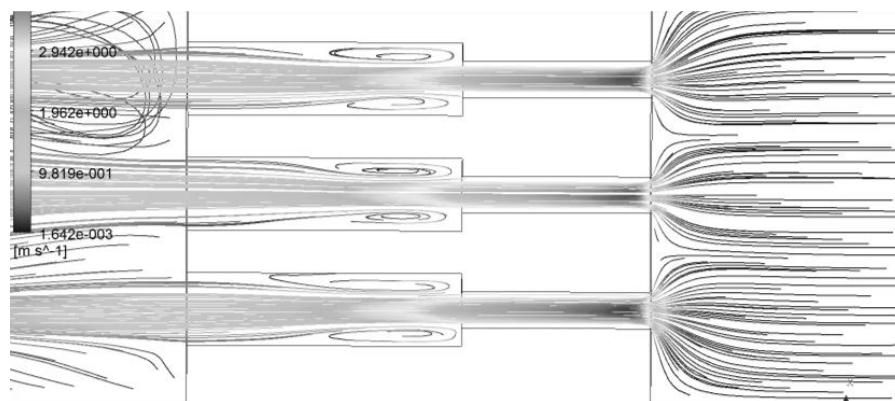


Рис. 10. Линии тока движения скоростей

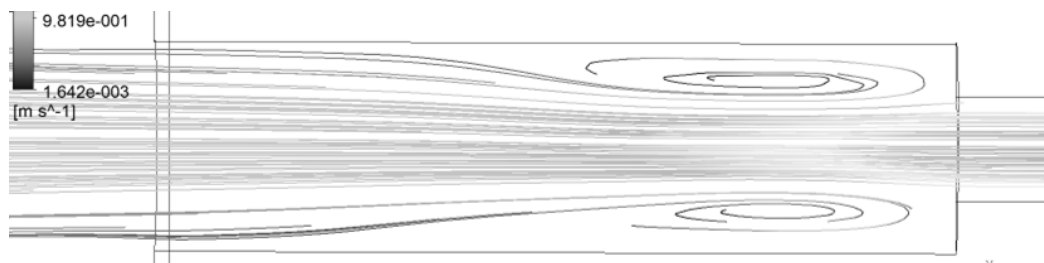


Рис. 11. Линии тока движения скоростей в отверстиях перфорированной плиты

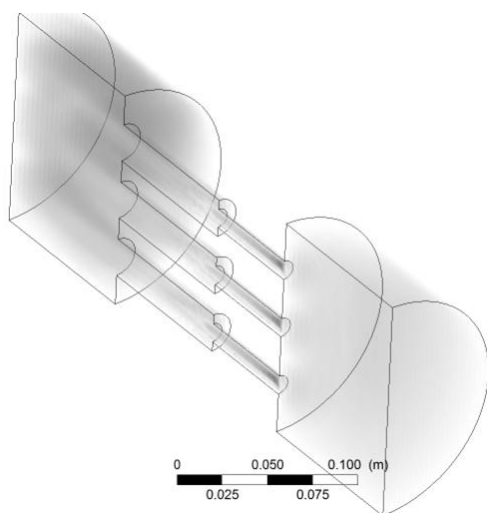


Рис. 12. Объемная картина распределения скоростей около отверстий

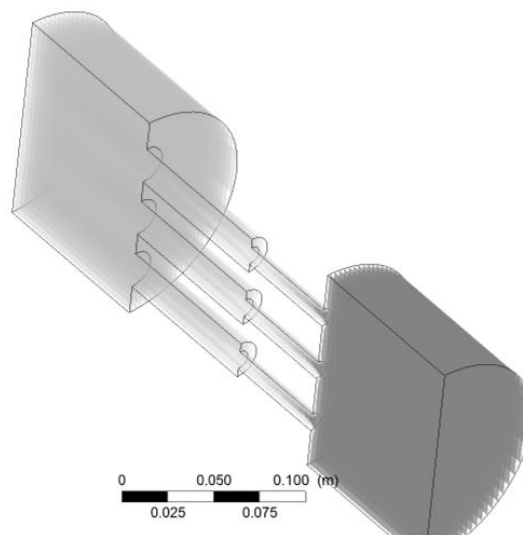


Рис. 13. Объемная картина распределения полного давления около отверстий

Результаты моделирования совпадают с теоретическим представлением процессов, протекающих в жидкости в перфорированной плите. Данное моделирование требует более детального расчета (уточнение свойств жидкости, материала корпуса, его жесткостных характеристик и т.д.) для более точных результатов и приближении модели к реальному поведению жидкости.

### Список литературы

1. Теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Бумаго- и картоноделательные машины / И. Д. Кугушев [и др.] ; [под ред. Н. Н. Кокушина, В. С. Курова] ; С.-Петерб. гос. технолог. ун-т растительных полимеров. - Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического ун-та, 2006. - 588 с
2. Терентьев О.А. Массоподача и равномерность бумажного полотна / О.А. Терентьев. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 264 с.
3. Партин А.И. Исследование влияний пульсационных возмущений в массоподводящей системе бумагоделательных машин на распределение массы 1 м<sup>2</sup> готовой продукции.: дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. 05.06.03. – Л., 1981. – 160 с.
4. Blanc Peter E. He stock pulse measurement iecyto improved pressure screcn design. – Pulp and Paper, 1981,v55, № 3, p. 68-71.
5. Erickson R., Burry Analysing pressure pulsation Variations in stock apparoach systems caused by fan pumps. – Pulp and Paper, 1979, v53, № 13, p. 25-28.
6. Meinecke A. Apparative Losungeu der Blattbildung. Uberblick uber stoff zubauf system und stoffauflauf. – Wochenbeatl fur Papier fabrikations., 1978, № 3, vio6. – s. 96-101.

УДК 655.531; 676.017; 676.014

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУМАГИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА

Тарасов Дмитрий Александрович,  
старший преподаватель ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»  
г. Екатеринбург, E-mail: [datarasov@yandex.ru](mailto:datarasov@yandex.ru)

**Ключевые слова:** бумага, оптические характеристики, спектр, рентгено-флуоресцентный анализ, спектрофотометр, белизна, яркость.

**Аннотация.** Оптические характеристики бумаг существенно влияют на качество полиграфической продукции, при этом они изменяются в зависимости от используемого сырья и способа производства, так что характеристики материала одного и того же сорта, выпущенного разными предприятиями, имеют существенные различия. Современных производственных методов быстрого контроля оптических характеристик бумаг не существует. Мы исследуем связь оптических характеристик полиграфических бумаг и их элементного состава для того, чтобы использовать полученные данные для создания такого метода. Проводились спектрофотометрические измерения и рентгено-флуоресцентный анализ 254 образцов полиграфических бумаг и картонов, а также целлюлозы. Предложено в качестве количественной оценки оптических характеристик бумаг использовать CIE Lab координаты цвета. Установлена связь содержания определенных химических элементов и оптических характеристик бумаги. Проведена кластеризация бумаг по их оптическим характеристикам и элементному составу. Обнаружены 3 явных кластера.

## A STUDY ON OPTICAL PAPER CHARACTERISTICS DEPENDING ON THEIR ELEMENTS COMPOSITION

Tarasov Dmitry Alexandrovich,  
Senior Teacher, Ural Federal University,  
Ekaterinburg, E-mail: [datarasov@yandex.ru](mailto:datarasov@yandex.ru)

**Keywords:** paper, optical characteristics, spectrum, X-ray fluorescence analysis, spectrophotometer, brightness, whiteness.

**Abstract.** Optical characteristics of papers significantly affect the quality of printed products, and they vary depending on the raw materials and the method of production used, so that the features of the material of the same grade, issued by different enterprises, have significant differences. Modern production methods of rapid control of the optical characteristics of papers do not exist. We investigate the relationship between the optical characteristics of printing papers and their elemental composition in order to use the data obtained to create such a method. Spectrophotometric measurements and X-ray fluorescence analysis of 254 samples of printing paper and paperboard, as well as cellulose, were carried out. It is proposed to use the CIE Lab color coordinates as a quantitative estimate of the optical characteristics of papers. The relationship between the content of certain chemical elements and the optical characteristics of the paper is established. Clustering of papers on their optical characteristics and elemental composition was carried out. There are 3 explicit clusters have been found.

Аддитивно-субтрактивный синтез цвета, используемый в полиграфии, основывается на применении полупрозрачных красок и нейтрально-белых бумаг и картонов [1, 2]. В случае

отклонения запечатываемого материала от требуемых характеристик могут возникнуть различные градационные искажения и прочие виды брака, связанные с вкладом цвета бумаги или картона в итоговый цвет оттиска. Систематически возникающее отклонение может быть в той или иной мере скомпенсировано дизайном и комплексом технологий допечатной подготовки. Однако в случае спонтанных отклонений учесть их практически невозможно и качество выпускаемой продукции страдает. Решением проблемы может стать оперативный входной контроль качества поступающих на производство материалов, в частности, оптических характеристик бумаг и картонов. Однако существующие инструментальные методы объективного контроля требуют наличия специализированного оборудования, лаборатории и подготовленного персонала, что в современных типографиях практически не встречается. Таким образом, остро строит проблема создания технологии использования существующего на производстве измерительного оборудования для объективного контроля оптических характеристик бумаги.

Основная комплексная характеристика, определяющая оптические свойства бумаг – это белизна как комплексное свойство визуального ощущения, характеризующее степень приближения предмета к белому по силе его повышенной яркости, высокой рассеивающей способности и минимальному цветовому оттенку.

Абсолютные значения белизны возможно получить согласно CIE в условиях освещенности от различных источников света (ГОСТ Р ИСО 11475, 11476 2010) и методом измерения по ISO (ГОСТ 30113-94 (ISO2470-77)). Отличие этих методов заключается в измерении коэффициента диффузной энергетической яркости в полной видимой области спектра (белизна по CIE) и «синей» области спектра при эффективной длине волны 457 нм (белизна по ISO) [3, 4, 5]. Можно констатировать, что существует некоторое смещение понятий и неточность в применяемых методах, что также вносит неопределенность в их практическое применение. Измерения яркости (белизны по ISO) могут быть проведены с использованием приборов, соответствующих ГОСТ 30116-94 типа лейкометр Karl Zeiss Jena или спектрометр Specol 10. Белизна CIE рассчитывается из измеренных цветовых CIE XYZ координат подложки. Производители печатных бумаг используют обе эти методики, и результаты указывают на упаковке и в сопроводительной документации. Причем следует учитывать, что абсолютные значения испытаний по этим методикам различаются размерностью. По ISO белизна выражается в процентах по отношению к эталону, а по CIE белизна выражается в условных единицах. Фактически, лейкометр показывает лишь насколько больше или меньше света во всей видимой зоне спектра способен отразить данный образец в сравнении с эталоном (сульфат бария, оксид магния или диоксид титана). Здесь следует заметить, что оптические свойства любого запечатываемого материала могут изменяться от партии к партии, независимо от заявленных значений. Более того, только белизна, рассчитанная по CIE, учитывает спектральный характер комплекса воспринимаемых оптических характеристик бумаг.

Современные полиграфические спектрофотометры отражения измеряют спектральный коэффициент отражения образца в диапазоне примерно 400-800 нм с разрешением 5-10 нм. Наряду с воспринимаемой светлотой (координата  $L$ ), из спектральных данных легко получить и хроматические координаты ( $a$ ,  $b$ ), а большинство спектрофотометров проводят подобные вычисления автоматически. Таким образом, суммарный объем данных, получаемых при единичном измерении, может быть существенно больше, чем при других видах измерений, и этот факт целесообразно использовать для оценки оптических свойств запечатываемого материала. Более того, в литературе выявлена тесная связь между оптическими свойствами бумаг и картонов и их составом, а также печатными характеристиками.

В работе [6] исследуются оптические и поверхностные свойства бумаг в свете действующих отраслевых стандартов. Особое внимание уделено стандартизации различных типов бумаг и их оптических характеристик. Приведены рекомендуемые CIE *Lab* координаты основных полиграфических бумаг, в частности, мелованной глянцевой и немелованной (95/0/-2), а также допуски ( $\pm 3/\pm 2/\pm 2$ , соответственно). В работе [7] описываются методы оценки оп-

тических характеристик бумаг. В качестве основной указана модель Кубелки-Мунка [8]. Отмечено, что существенным фактором оценки оптических свойств является анизотропия отражения, рассеяния и поглощения светового потока.

Работа [9] посвящена оценке связи свойств немелованной бумаги ( $80 \text{ г/м}^2$  и выше, не содержащих флуоресцентных отбеливающих добавок) и ее оптических спектральных характеристик. Установлена тесная связь между вариациями в свойствах бумаги (плотность, состав, масса  $1 \text{ м}^2$ ) и вариациями в ее оптических характеристиках. В разработанном подходе использовалась модель Кубелки-Мунка. Доказана связь коэффициентов рассеяния и поглощения света модели и характеристик бумаги. В ходе эксперимента наблюдалось увеличение коэффициента рассеяния света при росте количества наполнителя в бумаге и уменьшение – при увеличении плотности бумаги. Коэффициент поглощения света продемонстрировал наибольшую вариабельность.

В статье [10] отмечено, что происходит увеличение доли минеральных наполнителей в бумаге за счет уменьшения количества используемого более дорогостоящего целлюлозного волокна. Указано, что среднее количество минеральных наполнителей в бумаге достигает 7,1 %, при этом общее количество карбонатных наполнителей достигает 57% от общего их количества [11].

В работе [12] предлагается исследовать оптические свойства бумаг методом спектроскопии с использованием специальных приборов с приставками для измерения с диффузным отражением. Отмечено, что особенности оптических свойств бумаги обусловлены большим разнообразием составов бумаги и оптических характеристик, в частности белизны, определяемой по ГОСТ 30113-94.

В книге [13] приведены виды сырья и основные способы получения волокнистых полуфабрикатов для производства бумаги и картона, технология и основное технологическое оборудование для получения бумаги и картона.

В статье [14] анализируется химический состав кроющих меловальных суспензий. Отмечено, что поверхностное покрытие бумаги минеральными пигментами применяется для придания бумаге гладкой и впитывающей печатные краски поверхности, скрытия или изменения цвета бумаги-основы и придания бумаге непрозрачности. Пигменты составляют обычно от 70 до 90% массы покровного слоя мелованной бумаги. Для повышения оптической яркости в бумаги добавляют оптические отбеливатели – люминофоры, а также синие и фиолетовые красители, устраняющие желтоватый оттенок, присущий целлюлозным волокнам. Так, мелованные бумаги без оптического отбеливателя имеют оптическую яркость не менее 76%, а с оптическим отбеливателем – не менее 84%. Печатные бумаги с содержанием древесной массы должны иметь оптическую яркость не менее 72%, а газетная бумага может быть недостаточно белой. Ее оптическая яркость составляет в среднем 65 %.

Проанализировав литературные источники, можно подытожить полученную информацию. Вот примерный перечень веществ, которые могут быть использованы при производстве мелованной бумаги: Целлюлоза ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ )<sub>n</sub>,  $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_8$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$ ,  $\text{NaClO}$ ,  $\text{ClO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $6\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 = \text{BaSO}_4 + 2\text{NaCl}$  и некоторые другие. Минеральные наполнители могут содержать соли различных металлов, а также прочие соединения как в виде примесей, так и в виде составной части основного вещества. Точный состав наполнителей и меловальных слоев для бумаги обычно является коммерческой тайной, поэтому анализ и классификация бумаг и картонов затруднена.

Удобным и быстрым методом определения элементного состава материала является рентгено-флуоресцентный анализ (РФА). Определение взаимосвязи состава бумаг и их оптических характеристик посвящена данная работа.

Для проведения эксперимента были отобраны 254 образца полиграфических бумаг и картонов (наборами не менее 50 листов). Также была проведена отливка референтного листа целлюлозы. Для проведения спектральных измерений был использован спектрофотометр от-

ражения X-Rite iOne Pro. Каждый образец измерялся на белой подложке (в стопе) в режиме измерения спектра 10 раз, затем измерения усреднялись. Спектральные данные по образцам записывались в таблицу. Для каждого образца рассчитывалась белизна и отненочность по CIE, а также CIE *Lab* координаты.

Для определения элементного состава образцов бумаг был выбран рентгено-флуоресцентный спектрометр INNOV X-5000 (единицы измерения ppm). Каждый образец был измерен в режиме измерения «почва» 10 раз, затем измерения усреднялись. Результаты измерений были сведены в общую таблицу, которая для проведения анализа была импортирована в пакеты Statistica 10, Matlab 14, Origin 9.

Виды спектров отражения исследуемых бумаг приведены на рис.1.

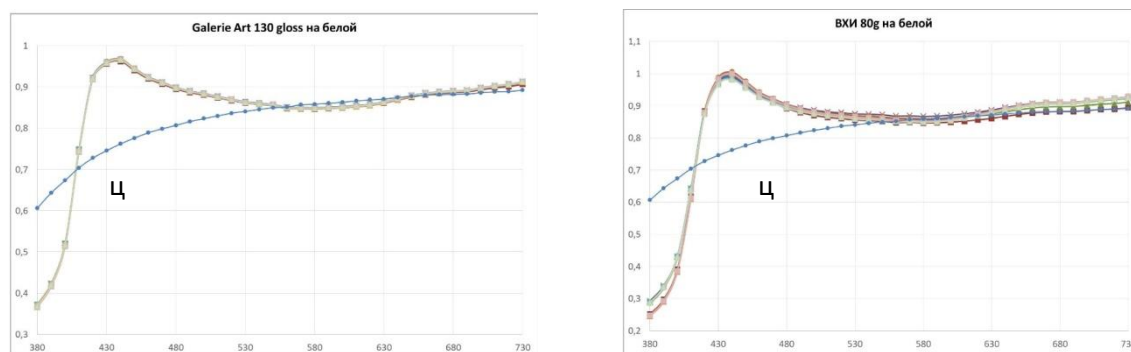


Рис.1. Виды спектров отражения целлюлозы (ц) и бумаг, измеренные для набора от 1 до 50 листов: слева – мелованная бумага, справа – немелованная бумага.

В составе образцов полиграфических бумаг обнаружены следующие элементы в различных концентрациях: S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Sb, I, Cs, Ba, Pt, Hg, Pb, Th. Концентрации элементов приведены в табл.1. Для сравнения, приведем концентрации химических элементов в почве, т.н. «кларки» (табл. 2) по Виноградову [15] и Тейлору [16]. Близкие по порядку величины значения показывают только следующие элементы: Sr, Zr, Mo. Остальные, очевидно, имеют техногенный источник. Корреляционный анализ не выявил сильных зависимостей между переменными (концентрации элементов и оптические характеристики образцов).

Таблица 1

Концентрации обнаруженных элементов в бумагах и целлюлозы

Элемент/концентрация в бумагах/концентрация в целлюлозе, ppm				
<b>S</b> / 3911 / 194	<b>Cl</b> / 1602 / 790	<b>K</b> / 1053 / 230	<b>Ca</b> / 487532 / 64	<b>Ti</b> / 1303,50 / 9
<b>Cr</b> / 19,89 / 10	<b>Mn</b> / 77 / 3	<b>Fe</b> / 1749,4 / 96	<b>Ni</b> / 6,74 / 16	<b>Cu</b> / 9,40 / 6
<b>Zn</b> / 9,83 / 9	<b>As</b> / 23 / 17	<b>Rb</b> / 5,55 / 7	<b>Sr</b> / 183 / 1	<b>Y</b> / 610 / 30
<b>Zr</b> / 50 / 1	<b>Mo</b> / 2,37 / 1	<b>Sb</b> / 127 / 6	<b>I</b> / 272,68 / 15	<b>Cs</b> / 384,5 / 417
<b>Ba</b> / 97 / 27	<b>Pt</b> / 34 / 10	<b>Hg</b> / 1,88 / 3	<b>Pb</b> / 2,09 / 4	<b>Th</b> / 1174 / 793

Таблица 2

Концентрации элементов в почве

Элемент/концентрация по Виноградову/концентрация по Тейлору, ppm				
<b>S</b> / 470 / 260	<b>Cl</b> / 170 / 130	<b>K</b> / 25000 / 20900	<b>Ca</b> / 29600 / 41500	<b>Ti</b> / 4500 / 5700
<b>Cr</b> / 83 / 100	<b>Mn</b> / 1000 / 950	<b>Fe</b> / 46500 / 56300	<b>Ni</b> / 58 / 75	<b>Cu</b> / 47 / 55
<b>Zn</b> / 83 / 70	<b>As</b> / 1,7 / 1,8	<b>Rb</b> / 150 / 90	<b>Sr</b> / 340 / 375	<b>Y</b> / 29 / 33
<b>Zr</b> / 170 / 165	<b>Mo</b> / 1,1 / 1,5	<b>Sb</b> / 0,5 / 0,2	<b>I</b> / 0,4 / 0,5	<b>Cs</b> / 3,7 / 3,0
<b>Ba</b> / 650 / 475	<b>Pt</b> / 0,005 / 0,005	<b>Hg</b> / 0,083 / 0,080	<b>Pb</b> / 16 / 12,5	<b>Th</b> / 13 / 9,6

В дальнейшем для удобства расчетов и визуализации использовалось 3-мерное цветовое пространство CIE *Lab* и соответствующие цветовые координаты образцов. Было принято решение разбить разнородную группу бумаг по признаку визуальной светлоты (координата *L*) на группы. Значения всех измеренных параметров были для удобства сравнения нормированы на медианные значения.

Для выделения характерных групп бумаг были проведены кластерный и дискриминантный анализы, которые выявили 3 группы (рис.2).

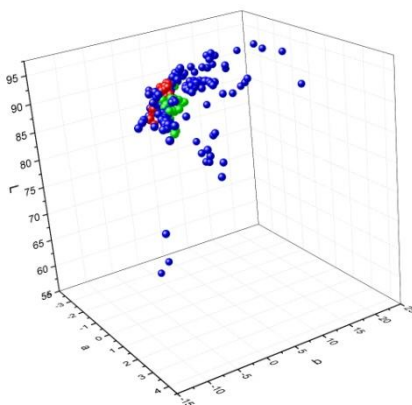


Рис.2. Кластеризация бумаг по оптическим характеристикам: 1 группа - красные точки, 2 группа – зеленые точки, 3 группа- синие точки

1 группа – 45 бумаг преимущественно двух производителей, обладающие наилучшими оптическими характеристиками; 2 группа – 28 бумаг четырех производителей, являющихся по сути пограничными с 3-й группой; поведение всех спектров указывает на небольшой разброс оптических параметров бумаг разных производителей, наличие выбросов в УФ-области говорит о присутствии оптических отбеливателей; 3 группа – 181 бумага, самая многочисленная группа с наихудшей белизной и высокой разнооттеночностью, поведение всех спектров у разных бумаг сильно отличается, наличие выбросов не только в УФ-области, но и в середине спектра говорит о сильной оттеночности. Спектры отражения бумаг по выделенным группам приведены на рис.3.

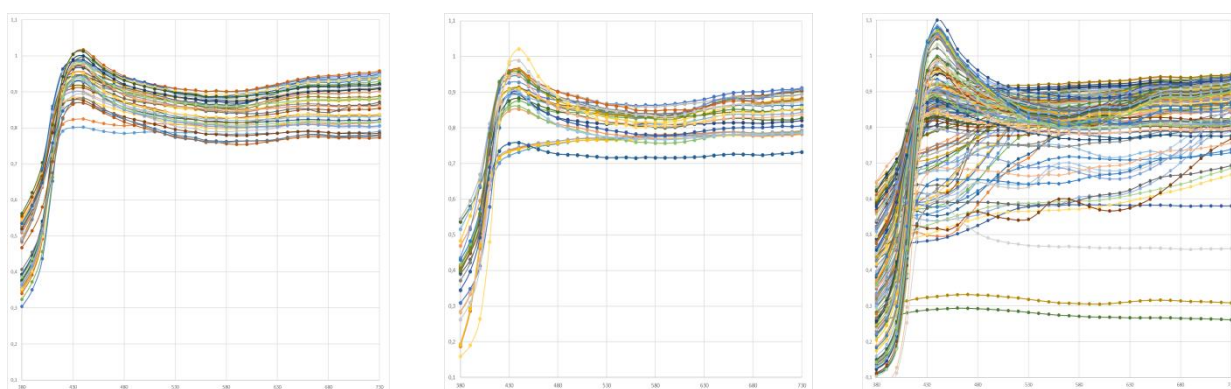


Рис.3. Спектры отражения бумаг (слева направо - 1, 2, 3 группы).

Оптические характеристики все трех групп бумаг существенно различаются. Так же различается и влияние тех или иных элементов, содержащихся в бумагах, на CIE *Lab* координаты образцов. Сравнение содержания различных элементов по кластерам приведено в



табл. 3. Для иллюстрации приведем зависимости светлоты (CIE  $L$ ), а также хроматической составляющей (CIE  $a, b$ ) от концентраций наиболее любопытных химических элементов (Y, Sr, Th) с кластеризацией по выделенным группам (рис.4).

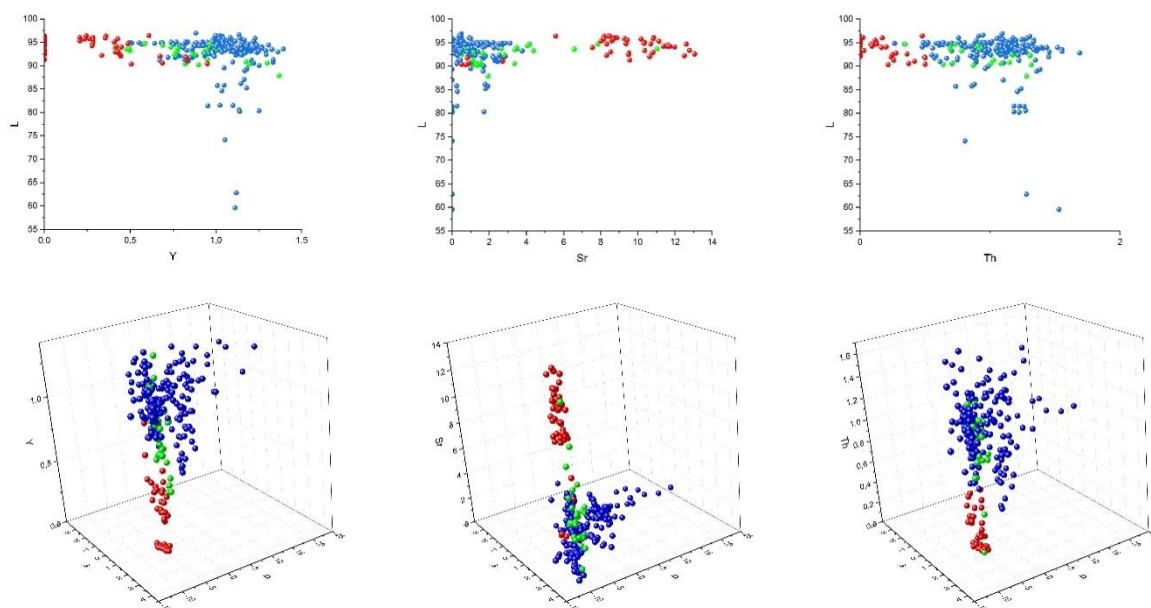


Рис.4. Зависимости CIE  $L$  (верхние графики) и CIE  $a, b$  (нижние графики) от концентраций элементов (слева направо - Y, Sr, Th) с кластеризацией по выделенным группам (1 группа – красные точки, 2 группа – зеленые точки, 3 группа – синие точки)

Таблица 3

Группы бумаг и концентрации элементов

Группа	1 (хорошие бумаги)	2 (промежуточные бумаги)	3 (плохие бумаги)
Высокая концентрация	Ca, Sr	Ba, Ca, Pb, I, Mo, Y, Ni, Th	Y, Th
Низкая концентрация	Y, Pb, Pt, I, Mo, Ni, Th		Ca, Ba, Pb, Ni, No, I, Sr

Первая группа «качественных» бумаг с высокой белизной сравнительно малочисленна и представлена фактически двумя производителями. Это единственные бумаги, соответствующие требованиям ISO 12647-2. Вторая группа промежуточные бумаги со слегка пониженной белизной. Третья, самая многочисленная группа имеет низкие оптические характеристики (низкая белизна и высокая оттеночность) фактически не соответствует требованиям стандартов.

Химический состав групп сильно отличается. В «хорошей» бумаге мало примесей. Наличие стронция (Sr), а не иттрия (Y) говорит об относительно «свежем» используемом минеральном сырье. Иттрий (Y) и торий (Th) в группе «плохих» бумаг свидетельствует о не слишком качественном минеральном сырье.

Использование расчетного показателя белизны (CIE) и оттеночности на производстве не удобно. Гораздо проще и быстрее оперировать CIE  $Lab$  координатами.

Использование понятия «яркость» (белизна по ISO) не дает представления об оттенке бумаги и непригодно для использования с современными бумагами и картонами, которые обычно имеют флуоресцирующие добавки.

В целом, можно отметить невысокое качество поступающих на рынок России бумаг и картонов. Если раньше типографии в основном жаловались на печатные характеристики, то

теперь можно утверждать, что существует тесная связь между составом бумаг и их печатными и оптическими характеристиками.

Поскольку бумага играет ключевую роль в качестве изготавливаемой продукции, полиграфические предприятия должны более тщательно следить за ее показателями при закупке и требовать от поставщиков снабжать производство только высококачественным сырьем.

## Список литературы

1. Лоуренс А. Вильсон. Что полиграфист должен знать о бумаге: пер. с англ. Е.Д. Климова – М.:ПРИНТ-МЕДИА центр, 2005. – 376с.
2. Киппхан Г. Энциклопедия по печатным средствам информации. М.: МГУП, 2003.– 1280с.
3. ГОСТ 30113-94 (ИСО 2470-77). Бумага и картон. Метод определения белизны. М.:ИПК Издательство стандартов. 1996. 11с
4. ГОСТ Р ИСО 11476-2010. Бумага и картон. Метод определения белизны по CIE. C/2° осветитель (искусственное освещение). М.: Стандартиформ. 2012. 20с.
5. ГОСТ Р ИСО 11475-2010. Бумага и картон. Метод определения белизны по CIE. D65/2° осветитель (дневной свет). М.: Стандартиформ. 2011. 16с.
6. Шахова И.И., Андреева О.В., Косоногова М.А. Исследование оптических и поверхностных свойств печатных бумаг // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2012. № 6. С.099–103.
7. Edström P. Next Generation Simulation Tools for Optical Properties in Paper and Print (2008) International Conference Modeling and Simulation in the Pulp and Paper Industry, 156–169.
8. Kubelka P. & Munk F. Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche, Z. Tech. Phys., 11a (1931), 593–601.
9. Hägglund H., Norberg O., Neuman M., & Edström P. (2012) Dependence between paper properties and spectral optical response of uncoated paper. Nordic Pulp and Paper Research Journal Vol 27 no.2/2012. 440–444.
10. Пенкин А.А. Применение карбонатных наполнителей модифицированных катионным крахмалом, в технологии бумаги для печати // Труды БГТУ. №4. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2009. Т. 1. № 4. С.290–293.
11. M. Lex et al. Fullstoffkaoline im wandel der papierherstellung. Wochenblatt fur Papierfabrikation. – 2003. Vol. 131, № 5. 233–237.
12. Варепо Л.Г. Исследование свойств бумаг методом спектроскопии // Фундаментальные исследования. 2007. № 12-3. С.463–464.
13. Вураско А.В., Агеев А.Я., Агеев М.А. Технология получения, обработки и переработки бумаги и картона: учеб. пособие.– Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2011.–272с.
14. Мишурина О.А., Корниенко Н.Д., Жерякова К.В., Муллина Э.Р. Анализ влияния химического состава кроющих суспензий на качество покрытия при производстве мелованных видов бумаг и картона // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2015, № 5, с. 26–28.
15. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. No 7. С. 555—571.
16. Taylor S. R., Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. «Geochimica et Cosmochimica Acta», 1964, v. 28. p. 1273-85.

УДК 62-5

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ  
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПРОМЫВКИ ПОДАЧИ ЖИДКИХ ХИМИКАТОВ  
НА ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

**Арефьева Анна Владимировна,**  
студент, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет», г. Пермь, E-mail: [arefewa@bk.ru](mailto:arefewa@bk.ru)

**Петроченков Антон Борисович,**  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет», г. Пермь, E-mail: [zav@msa.pstu.ac.ru](mailto:zav@msa.pstu.ac.ru)

**Ключевые слова:** система диспетчеризации, целлюлозно-бумажное предприятие, алгоритм, FBD, автоматическая промывка подачи жидких химикатов.

**Аннотация.** В качестве исследуемого технологического объекта была выбрана система подачи жидких химикатов на целлюлозно-бумажном предприятии. В ходе исследования были выбраны ключевые моменты для сбора информации о технологических параметрах, которые влияют на технологический процесс. Разработан алгоритм с учетом специфики используемых датчиков и измерительных приборов, органов управления и программируемых логических контроллеров (ПЛК). Разработанная подсистема интегрирована в автоматизированную систему диспетчерского управления предприятия.

**DEVELOPMENT OF DISPATCHING SYSTEM OF THE AUTOMATIC FLUSHING  
OF LIQUID CHEMICALS SUPPLY AT A PULP AND PAPER ENTERPRISE**

**Arefeva Anna Vladimirovna,**  
student, Perm national research Polytechnic University, Perm, E-mail: [arefewa@bk.ru](mailto:arefewa@bk.ru)

**Petrochenkov Anton Borisovich,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Perm national research Polytechnic University, Perm, E-mail: [zav@msa.pstu.ac.ru](mailto:zav@msa.pstu.ac.ru)

**Key words:** dispatching system, the pulp and paper enterprise, algorithm, FBD, automatic flushing of liquid chemicals supply.

**Abstract.** The feeding liquid chemicals system at the pulp and paper enterprise was chosen as a research object. The research selected the key points for collecting information on technological parameters that affect the technological process. An algorithm has been developed, taking into account the specificity of the sensors and measuring instruments used, the controls and the programmable logic controllers (PLC). The subsystem has been integrated into the enterprise automated dispatch control system.

Современный уровень развития производств формирует высокие требования к надежности функционирования технологических систем. Каждая непредвиденная остановка выпуска продукции по причине выхода из строя элемента технологического оборудования приводит к значительным материальным потерям, нарушения ритмичности производства и проведение ремонтных работ. На целлюлозно-бумажном предприятии особенно актуальным является предотвращение возникновения внештатных ситуаций, развитие которых может привести к серьезным авариям и экологическим катастрофам.

На современном уровне развития информационных и автоматизированных систем добиться безаварийной ритмичной работы производства возможно лишь с помощью автоматизации и оптимизации технологического процесса.

Таким образом, разработка и применение автоматизированных систем управления позволяет повысить эффективность и надежность работы всех служб, снизить износ оборудования, производить контроль действия персонала, упрощать управление системой, и, как следствие, предупреждать и предотвращать аварийные ситуации и позволять составлять индивидуальные программы работы для каждой подсистемы.

Целью исследования является разработка системы диспетчеризации автоматической промывки подачи жидких химикатов на целлюлозно-бумажном предприятии.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- исследовать объект управления;
- разработать алгоритм автоматизированного функционирования и выявления аварийных ситуаций;
- интегрировать подсистему автоматической промывки жидких химикатов в систему автоматизированного диспетчерского управления.

Участок подачи жидких химикатов, является ключевым для производства бумажной массы, от контролируемых параметров технологического процесса на данном этапе напрямую зависит ход последующих технологических операций, и качество выпускаемой продукции в целом.

Система должна учитывать порядка 30 технологических параметров в режиме реального времени. Сбор и обработка этих параметров – достаточно трудоемкий процесс, как с точки зрения построения информационной системы, так и с позиции физической системы (дорогостоящее оборудование, различные программные и аппаратные интерфейсы).

Для решения поставленной задачи использовались методы теории автоматического управления, моделирования, алгоритмизации. Проведены экспериментальные исследования с использованием технологических средств контроля и управления технологическим оборудованием (на основе, используемой на предприятии программы и методики испытаний программных и аппаратных средств контрольных параметров) [1-3].

При практической реализации алгоритмов автоматизированного моделирования использовались методы структурного и объектно-ориентированного программирования [4], тематические исследования, языки программирования Pascal, программная среда PMD BlockBuilder, язык FBD [5].

Объектом исследования является подача жидких химикатов на целлюлозно-бумажном предприятии (рис.1). Схема реализована в программном продукте HMIWebBuilder. На немосхеме представлены такие химические реагенты как бентонит (БЕ), амфотерные и катионные дисперсии (АКД), катионный крахмал (КК), полиакриламид (ППА).

Реагенты хранятся в виде порошка. Затем они поступают в баки, в которых они перемешиваются с водой, и полученная консистенция по трубам поступает на участок подачи химических реагентов. Кроме того, на немосхеме представлены: насосы перекачки, клапана подачи (под цифрами 1), клапана промывки (под цифрами 2).

На рис.2 представлен разработанный алгоритм функционирования автоматической промывки подачи жидких химикатов.

Рассмотрим алгоритм более подробно:

После выполнения каждого шага происходит выдержка в 2 секунды. Это нужно для того, чтобы шаг успел получить сигнал с контроллера и завершиться.

*Шаг 1:* На данном шаге происходит проверка работы насосов перекачки химикатов, таких как насос БЕ, насос КК, насос АКД и насос ПАА, и подачи самих реагентов. Если условия выполнены, то происходит переход на следующий шаг.

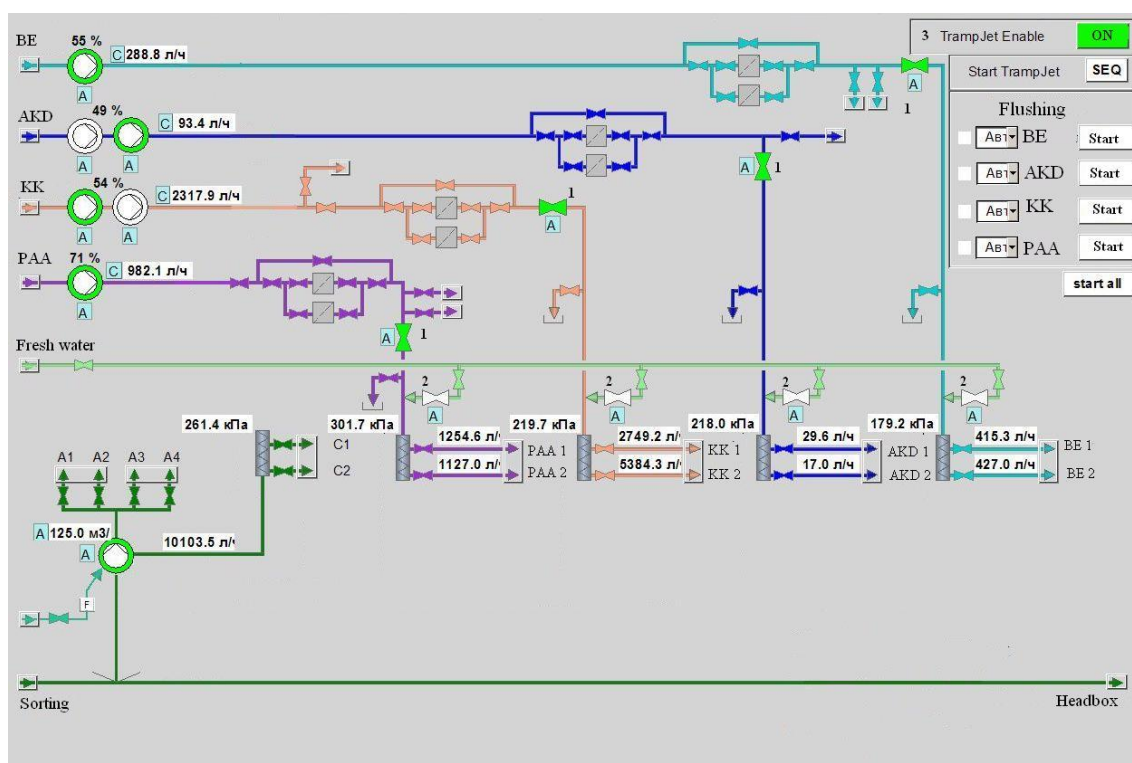


Рис.1. Мнемосхема подачи жидких химикатов

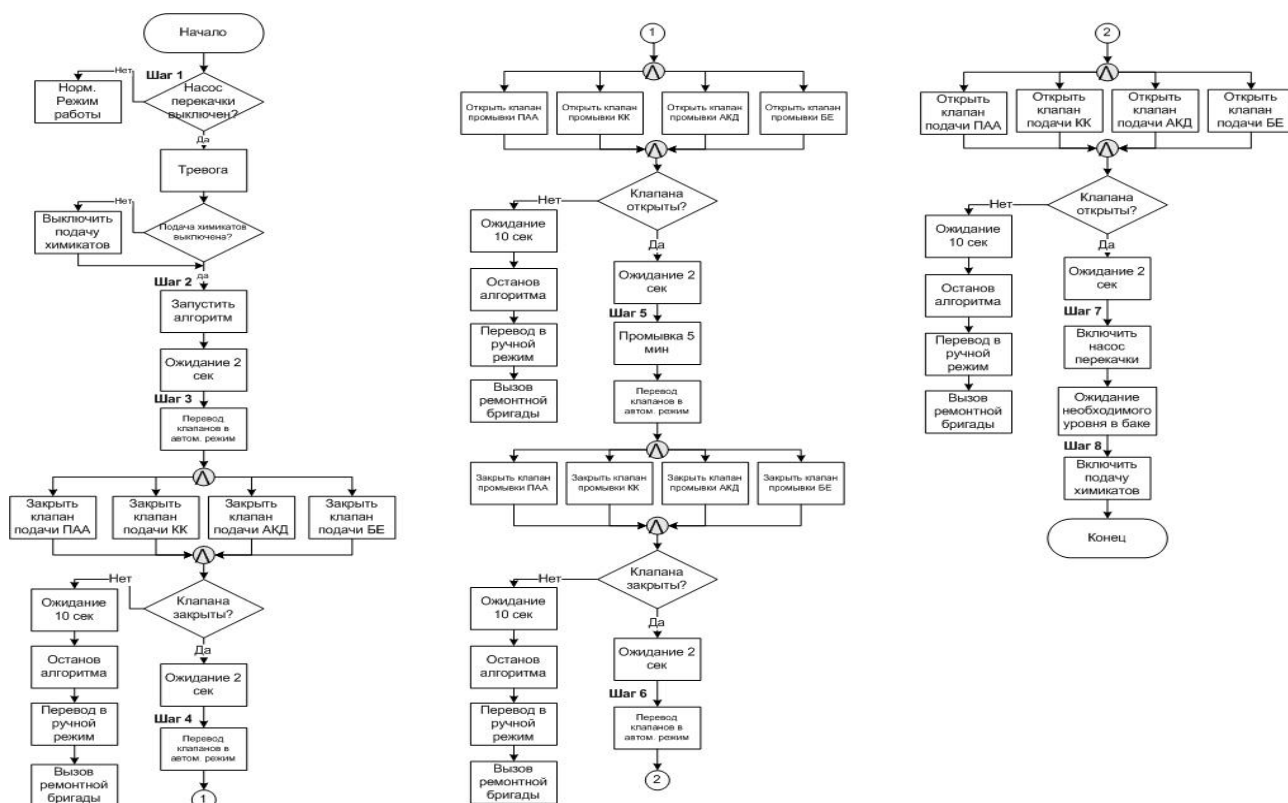


Рис. 2. Алгоритм автоматической промывки подачи жидких химикатов

При условии, что насосы перекачки включены система находится в нормальном режиме работы. Это означает, что в системе не возникает аварийных ситуаций, и все оборудование исправно работает.

*Шаг 2:* Если насосы перекачки выключены и подача прекращена, то происходит переход на следующий шаг.

*Шаг 3:* Сначала элементы системы переводятся в автоматический режим. Переход элементов системы нужен для их управления и отслеживания с диспетчерской станции при возникновении ошибок и потери сигнала.

После перевода системы, закрываются клапана подачи химических реагентов. Далее происходит проверка закрытия данных клапанов с помощью условия: Если клапана закрылись, то ожидание 2 секунды и переход на следующий шаг, иначе ожидание 10 секунд. В случае, если по истечению времени клапана так и не закрылись, алгоритм останавливается. Затем элементы системы переводятся в ручной режим работы, и оператор вызывает ремонтную бригаду для устранения проблемы.

*Шаг 4:* Сначала клапана промывки переводят в автоматический режим работы. Затем им поступает сигнал на открытие. Происходит проверка открытия клапанов аналогично условиям из шага 3.

В случае, если условия выполнены, то производится промывка труб в течении 5 минут. По истечении этого времени алгоритм переходит на следующий шаг.

*Шаг 5:* Закрытие клапанов промывки химических реагентов. Проверка закрытия аналогично условиям из шага 3. Если условия выполнены, то переход на следующий шаг.

*Шаг 6:* Открытие клапанов подачи химикатов. Проверка открытия происходит аналогично условиям из шага 3. Если условия выполнены, то переход на следующий шаг.

*Шаг 7:* Сначала запускаются насосы перекачки жидких химикатов. Затем система ждет заполнения баков с реагентами до допустимого уровня. После того как пришел сигнал о допустимом уровне, алгоритм переходит к следующему шагу.

*Шаг 8:* Включение подачи жидких химикатов и переход в нормальный режим работы систем.

Как уже отмечалось, рассматриваемый объект является очень ответственным.

С точки зрения подходов к построению систем сбора и обработка информации на объектах такого класса известны работы [6,7]. Например, в работе Шиляева Д.В. рассматривается внедрение автоматизированной системы управления тепловым пунктом [8]. Общей чертой рассматриваемых подходов является надлежащее «размещение» ответственного оборудования в «правильных» точках и реализация соответствующего алгоритма для них. Выбор оборудования является прерогативой предприятия и не рассматривался в этом исследовании. С точки зрения алгоритмизации подход, основанный на FBD-диаграммах, кажется универсальным [9].

На рис. 3 представлена часть логической модели алгоритма, которая реализована в программном продукте PMD BlockBuilder на языке программирования FBD. Данный рисунок соответствует шагу 3 в алгоритме, представленном на рисунке 2. FBD—это графический язык программирования, предназначенный для программирования программируемых логических контроллеров (ПЛК) [10].

На схеме располагаются различные входные и выходные сигналы (пины), а также различные стандартные блоки, с помощью которых осуществляется построение логической модели. Цифры с правой стороны у блоков означают очередность выполнения действий логической модели.

Разработанный алгоритм относится к известному классу пошаговых алгоритмов [11]. Новизна заключается в использовании быстродействующих контроллеров и представлении технологических параметров в агрегированном темпе технологического процесса, ориентированного преимущественно на автоматический режим (при более точном учете «ручных»



параметров, например, как в работе [12-14], будем иметь дело с более перекрестными связями и с наличием более мощных вычислительных ресурсов).

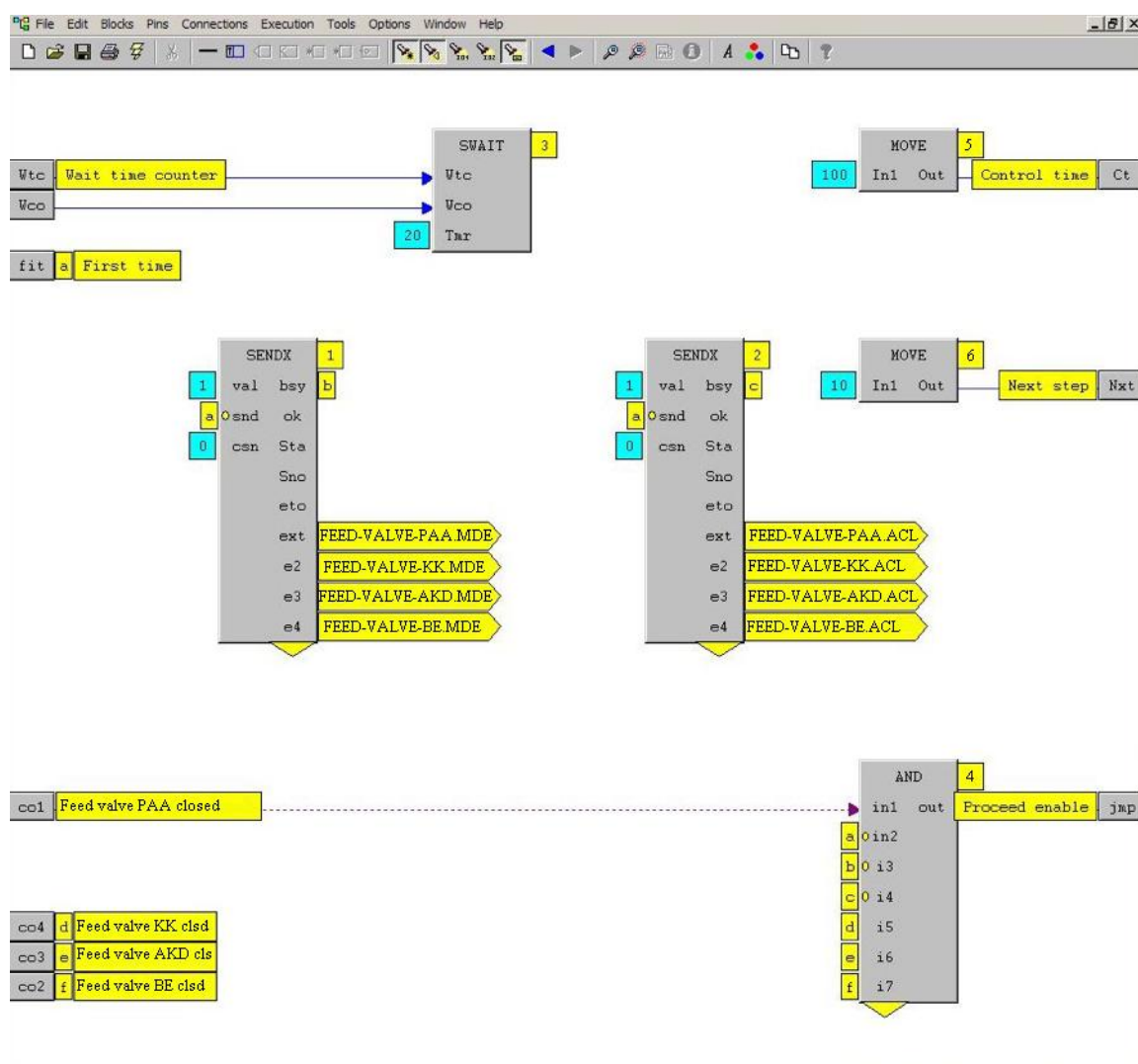


Рис. 3. Реализация алгоритма

Сначала выполняется работа блоков SENDX. Они предназначены для управления передачей данных в модулях и между модулями по отдельности для каждого пина.

На рис.3 первый блок SENDX используется для перевода системы в автоматический режим. Это осуществляется с помощью входного пина MDE объекта FEED-VALVE. Второй блок SENDX используется для автоматического закрытия клапанов химических реагентов. Автоматическому закрытию соответствует входной пин ACL объекта FEED-VALVE.

Далее выполнение действий логической модели переходит к блоку SWAIT, который является временем ожидания. Работа данного блока состоит в двухсекундном ожидании для того, чтобы предыдущий блок успел завершиться.

После чего алгоритм переходит к проверке действий выполнения шага. Для этого используется блок AND, который предопределен для суммирования входных сигналов. Пины co1, co2, co3, co4 соответствуют сигналам химических реагентов объекта FEED-VALVE, которые устанавливаются по ссылкам на верхнем уровне логической модели.

Алгоритм переходит на следующий шаг с помощью пина jmp модели при условии, что клапана химических реагентов закрылись, и вышло время ожидания.



Следующими выполняются блоки MOVE. В нашем исследовании, в первом случае, данный блок осуществляет выдержку времени в 10 секунд для выполнения действий шага.

Во втором случае, блок используется для перехода алгоритма на следующий шаг. На входной сигнал устанавливается номер шага через константу, а выходной сигнал привязывается к пину Nxt модели. Пин nxt модели осуществляет переход на следующий шаг при условии, что все блоки выполнили свою работу.

Данный алгоритм может работать в автоматическом и ручном режиме. При автоматическом режиме алгоритм запускается при аварийной ситуации, например, отключение насосов подачи, снижение уровня реагентов в баках, повышения давления в трубах. В ручном режиме алгоритм может запускаться операторами с диспетчерской станции и управляться по месту.

Ограничениями исследования является, что данное исследование преимущественно ориентировано на автоматический режим работы, а не на «ручной», и не исключает человеческий фактор. Любое отклонение от нормы может вызвать затруднения в работе алгоритма. Например, неправильная установка и калибровка оборудования ремонтной бригады после плановых ремонтных работ по заданному регламенту предприятия может вызвать затруднения при переходе системы в автоматический режим. В таком случае, алгоритм не сможет завершить все шаги самостоятельно и будет необходимо завершать работу алгоритма в «ручную» рабочим персоналом. Утвержденный регламент по настройке и установке оборудования предприятия записан в код программного обеспечения.

Разработанная система является первым шагом поддержки автоматизации подачи жидких химикатов. Элементы ручного управления остаются на данном этапе, как с точки зрения байпаса, так и с точки зрения понимания наращивания системы диспетчеризации [15].

В статье рассматривается разработка системы диспетчеризации, направленной на разработку автоматической промывки подачи жидких химических веществ. Кроме того, в исследовании выбраны ключевые точки сбора информации о технологических параметрах, влияющих на технологический процесс. Разработан алгоритм автоматической промывки подачи жидких химических веществ с учетом специфики применяемых датчиков и измерительных средств, средств управления и ПЛК.

Во всяком случае, подсистема автоматической промывки подачи жидких химических веществ интегрирована в автоматизированную систему диспетчерского управления предприятия. Разработанный алгоритм может использоваться не только для программ, ориентированных на FBD, но и легко адаптироваться к другим программам ПЛК.

Данная реализация также позволит выйти на уровень единой интеллектуальной среды управления технологическим процессом всего предприятия.

### Список литературы

1. D.Nguyen, M.J.Bagajewicz, "New sensor network design and retrofit method based on value of information", *AIChE Journal*, vol. 57, Issue 8, pp. 2136-2148, August 2011.
2. L.Cochrane, "Smart Energy Reference Architecture," *Microsoft Worldwide Utilities Industry*, March 2013.
3. "Automation and control solution", *Noheywell International Inc.*, March 2008.
4. C.Larman, "Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development", Hardcover; Lebanon, Indiana, U.s.a.: Prentice Hall PTR, October 20, 2004.
5. Sejin Jung, Junbeom Yoo, Young-Jun Lee, "A PLC platform-independent structural analysis on FBD programs for digital reactor protection systems", *Annals of Nuclear Energy*, vol. 103, pp. 454-469, May 2017.
6. M. Wcislik, K. Suchenia, M. Laskawski, "Programming of sequential control systems using functional block diagram language", *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, pp.330-335, 2015.

7. Joseph-Jean Paques, Rene Benoit, “Safety and Design of Control System in Quebec Pulp and Paper Industries: Preliminary Study”, IFAC Proceedings Volumes, vol. 31, pp. 999-1003, June 1998.
8. A.B. Bilalov, D.Y. Shilyaev, A.B. Petrochenkov, O.A. Bilous, “The introduction of the automated control system of thermal point”, Fundamental research № 8, pp. 87-92 2015.
9. Ephrem Ryan Alphonsus, Mohammad Omar Abdullah, “A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs)”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 60, pp. 1185-1205, July 2016.
10. IEC 61131-3:2013 Programmable controllers - Part 3: Programming languages.
11. D.Darvas, E.B.Vinuela, I.Majzik, “PLC code generation based on a formal specification language”, IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN) № 7819191, pp. 389-396, 2017.
12. Prof. Sirkka-Liisa Jämsä-Jounela, “Future trends in process automation”, IFAC Proceedings Volumes, vol. 40, pp. 1-10, 2007.
13. Sennai Mesfun, Andrea Toffolo, “Integrating the processes of a Kraft pulp and paper mill and its supply chain”, Energy Conversion and Management, vol. 103, pp. 300-310, October 2015.
14. L.Grigoriev, A.Kostogryzov, A.Tupysev, “Automated dispatch control; problems and details of modeling”, IFAC Proceedings Volumes, vol. 46, pp.1123-1127, 2013.
15. Willis Harmon Ray, “Advanced Process Control”, Butterworths, 1981.

**ВОПРОСЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ, СОХРАНЕНИЯ  
И ОБЛАГОРАЖИВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ.  
СЫРЬЕВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦБП И ЛЕСОПЕРЕРАБОТКИ**

---

УДК 338. 26

**НЕВОСТРЕБОВАННОСТЬ ЛЕСНЫХ ПЛАНОВ СУБЪЕКТОВ РФ  
КАК ИНСТРУМЕНТА ЛЕСОУПРАВЛЕНИЯ**

**Прядилина Наталья Константиновна,  
канд. эконом. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [Lotos nk@inbox.ru](mailto:Lotos_nk@inbox.ru)**

**Ключевые слова:** Лесной кодекс, лесной план, лесоустройство, экономическое планирование, стратегия развития.

**Аннотация.** Десятилетний опыт применения лесных планов субъектов Российской Федерации показал, что они не стали тем инструментом, который способен ориентировать развитие лесного сектора в регионах на конечные результаты, главным из которых является производство лесопроductии, конкурентной на внутреннем и экспортном рынках.

Основные причины несостоятельности лесных планов - отсутствие научно обоснованной концепции и применение лесоустроительного подхода при их разработке.

**UNSUITABILITY OF FOREST PLANS OF SUBJECTS OF THE  
RUSSIAN FEDERATION AS A TOOL OF FOREST MANAGEMENT**

**Pryadilina Natalia Konstantinovna,  
Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [Lotos nk@inbox.ru](mailto:Lotos_nk@inbox.ru)**

**Key words:** forest code, forest plan, forest management, economic planning, development strategy.

**Abstract.** Ten years of experience in the implementation of forest plans by the subjects (regions) of the Russian Federation have shown that they have not provided tools suitable for guiding the development of the regional forest sectors to their final purpose, i.e. notably the output of forest products that can successfully compete in the domestic and export markets.

The main shortcomings of forest plans are the lack of scientifically grounded concepts and poor application of forest management techniques.

Большие надежды с целью обеспечения устойчивого развития территорий в условиях децентрализации управления Лесной кодекс РФ 2006 года (далее по тексту ЛК РФ) возлагал на лесное планирование.

Согласно ст. 85 ЛК РФ документом лесного планирования является лесной план субъекта РФ. В соответствии со статьей 83 ЛК РФ разработка и утверждение лесных планов субъектов Федерации являются переданными полномочиями Российской Федерации органам государственной власти субъектов Федерации, на осуществление которых средства были предоставлены в виде субвенций из федерального бюджета.

Разработка лесных планов субъектов РФ проводилась в соответствии с ЛК РФ и нормативными документами в 2008 году и была завершена во всех субъектах (кроме Московской области) к январю 2009 г. Лесные планы были разработаны на период 2009-2018 гг. Предполагалось, что именно они станут долгосрочной программой ведения лесного сектора в новых экономических условиях.

Придаваемое государством значение этой работе можно оценить по финансовым затратам на ее проведение. На разработку лесных планов субъектов РФ в 2008 году было затрачено около 468 миллионов рублей (не считая финансовых средств на создание нормативных документов) [2].

Заместитель руководителя Рослесхоза М.Д. Гиряев в 2008 году предупреждал: «В конечном счете, если мы увидим, что наши предложения и корректировки не учитываются и лесные планы продолжают оставаться «сырыми», то будем ставить перед губернаторами вопрос о соответствии руководителей департаментов занимаемым должностям. Ведь, по сути, речь идет о неэффективном использовании бюджетных средств. Из федеральной казны на разработку лесных планов выделяются сотни миллионов рублей, деньги осваиваются, однако приемлемого результата нет» [3].

Тем не менее, несостоятельность лесного плана как инструмента долгосрочного стратегического планирования была изначально предопределена принятой концепцией разработки этого документа, согласно которой лесной план как по набору типовых форм с исходной информацией, так и по выходным показателям предстал региональным лесоустроительным проектом, исполнение рекомендаций которого никогда не было обязательным в лесоустроительной практике.

Во многих субъектах РФ лесные планы разработаны исходя из ошибочного представления о том, что лесной план должен представлять собой, совокупность мероприятий, установленных лесохозяйственными регламентами, хотя эти документы имеют совершенно различные цели.

Лесной план, оправдывая свое название, должен содержать программу действий в области использования и воспроизводства лесов, а лесохозяйственный регламент - условия для осуществления этих действий, выраженные требованиями к использованию, охране, защите и воспроизводству лесов.

Лесоустроительный подход к разработке лесного плана определил и сроки его действия в 10 лет, приравняв этот срок к сроку действия лесохозяйственного регламента.

Исходя из того, что большинство мероприятий в лесном плане финансируются из бюджетных средств, которые на федеральном уровне устанавливаются 3-летними рамками бюджетного планирования, оценка эффективности мероприятий за пределами 3-летнего периода лишена практического смысла ввиду невозможности предоставить достоверную информацию об их финансовом обеспечении.

Существенным недостатком существующей концепции лесного планирования является отсутствие ориентации производства при освоении лесов на спрос на внутреннем и экспортном рынках. В утвержденной типовой форме лесного плана отсутствует раздел, содержащий информацию, позволяющую оценивать различные сценарии развития лесного сектора в зависимости от структуры потребления древесины в регионе.

Лесные планы были ориентированы исключительно на выполнение политического задания – повысить эффективность использования лесных ресурсов через увеличение уровня освоения расчетной лесосеки с приоритетом развития производств по химической переработке древесины.

Следствием данного подхода является труднообъяснимый факт, когда в стремлении удивить центр уровнем использования ресурсного потенциала субъекты Российской Федерации в совокупности за десятилетний период в 2008 году запланировали строительство 18 целлюлозно-бумажных предприятий без учета того, какие рынки будут способны потребить столь большие объемы целлюлозно-бумажной продукции.

Недостатки существующей концепции регионального лесного планирования привели к тому, что:

- лесные планы не создали надежных экономических ориентиров для информационного развития сектора по использованию лесных ресурсов;
- лесные планы субъектов РФ оказались не интегрированными в федеральную стратегию развития лесного сектора как по входным и выходным показателям, так и по срокам их достижения.

Десятилетний период применения лесных планов субъектов РФ показал их несостоятельность в достижении главных поставленных перед ними задач:

- эффективного использования земель лесного фонда как федеральной собственности;
- оценки эффективности осуществления органами государственной власти субъектов РФ переданных им полномочий.

Этот факт был осознан федеральными органами исполнительной власти в сфере лесных отношений, следствием чего стало появление постановления Правительства РФ от 06.03.12 № 194 «Об утверждении критериев оценки эффективности деятельности органов государственной власти субъектов РФ по осуществлению переданных полномочий РФ в области лесных отношений» [4]. Совокупность из предложенных критериев по всей своей сути была призвана восполнить те показатели, которые в настоящее время отсутствуют в региональных лесных планах.

То, что лесные планы не выполняют той роли, которая предписана им Лесным кодексом и планами социально-экономического развития территорий, объясняется отсутствием научно-обоснованных подходов к их разработке.

Необходимо заметить, что разработчики лесных планов определялись на основе конкурсов. Победителями конкурсов часто становились организации далекие от лесного хозяйства и лесопользования, не имеющие подготовленных специалистов, навыков проектирования, не знакомые с экономическим и экологическим состоянием региона, лесными традициями.

За весь период применения лесных планов в статьи 85 и 86 Лесного кодекса не было внесено ни одной поправки. На практике это означает: есть документ, исполнение которого не обязательно [5].

К необходимости пересмотра сложившейся системы лесного планирования призывают не только отмеченные выше концептуальные и методические просчеты, но и качество привлеченной информации, особенно когда речь идет о динамике объемов производства лесопродукции. Дело в том, что показатели лесного плана на десятилетний период были установлены на базе докризисного 2007 года, когда всем отраслям экономики, включая лесной сектор, были присущи высокие темпы роста.

Финансовый кризис 2008-2010 года, особенно остро проявившийся в лесном секторе, значительно изменил стартовые условия для роста объемов производства в отдельных отраслях, при этом радикально не в пользу Российской Федерации изменилась конъюнктура экспортных лесных рынков.

В ряде субъектов РФ, учитывая несостоятельность лесных планов, в качестве управленческого инструментария были разработаны региональные программы/стратегии развития ЛПК, которые задают экономические и социальные ориентиры в освоении лесов.

Приступая к пересмотру системы лесного планирования, надо в первую очередь определиться: оставить ли лесной план субъекта РФ региональным лесоустроительным проектом, произведя лишь корректировку его количественных показателей в соответствии с изменившимися условиями. Либо разработать лесной план в виде регионального документа стратегического планирования развития лесного сектора, построенного на экономических принципах планирования, обосновывающего направления развития лесной политики и лесной экономики региона, мероприятия лесного хозяйства и лесопользования, переработки древесины и лесных ресурсов, социальных и экологических приоритетов.

Второй вариант наиболее целесообразен, тем более, что федеральный закон от 28.06.2014 № 172-ФЗ создает правовое поле для организации лесного планирования на федеральном и региональном уровне [6].

Исходя из отечественного и зарубежного опыта, лесное планирование должно не подменять собой лесоустроительное проектирование, имеющее свои цели и задачи (ст. 68 ЛК РФ), а стать экономическим планированием, основанным на следующих принципах:

показатели плана должны быть заданиями к обязательному исполнению;  
плановые задания должны иметь соответствующее ресурсное обеспечение;  
плановые задания должны быть адресными, т.е. иметь конкретных исполнителей;  
плановые задания должны исполняться в тех временных рамках, которые позволяют учитывать влияние внешних факторов (например, утвержденные бюджетные ассигнования).

Блоки плана, построенного на экономических принципах планирования должны представлять логически связанную систему, в которой выходные показатели одного блока являются входными показателями другого блока.

При этом важно:

1) чтобы лесное планирование стало экономическим, разработка лесного плана должна осуществляться методами программно-целевой организации;

2) региональное лесное планирование должно быть подчинено целям и задачам федеральных целевых программ развития лесного сектора, а также текущих и перспективных планов социально-экономического развития территорий;

3) горизонт планирования должен быть установлен в пределах, не превышающих пяти лет (срок в три года делает возможным соединения лесного планирования с бюджетным);

4) лесной план должен разрабатываться органами государственной власти субъекта РФ;

5) чтобы ежегодные задания лесного плана стали критериями для оценки эффективности исполнения органами государственной власти субъектов РФ переданных им полномочий, лесной план должен утверждаться федеральным органом исполнительной власти в сфере лесных отношений (в настоящее время – Федеральным агентством лесного хозяйства) и быть основой для заключения двусторонних соглашений между названными выше сторонами.

С учетом сказанного лесной план субъекта РФ не должен выполнять функции регионального лесоустроительного проекта, как это определено действующими нормативными документами, а должен быть инструментом проведения национальной лесной политики, работающим на базе традиционно применяемых в экономическом планировании принципов и показателей. Лесной план субъекта РФ в качестве экономического инструмента будет способен обеспечить эффективное взаимодействие федеральных и региональных властей в создании условий для устойчивого развития лесного сектора, при этом, отпадет необходимость в привлечении дополнительных критериев для оценки эффективности исполнения субъектами РФ переданных им полномочий.

В 2018 году заканчивается срок действия существующей системы планирования и у федерального правоустанавливающего органа в области лесного хозяйства есть шанс на деле учесть недостатки существующего подхода в региональном лесном планировании.

### Список литературы

1. Лесной кодекс РФ; утв. ФЗ от 04.12.06 г. № 200.
2. Новосельцева А.И. Прогнозы и программы в системе лесного планирования // Лесное хозяйство. 2014. №1. С. 21-23.
3. Голубчиков Ю.Н. Лесоустройство России в мировом измерении // Независимая газета. 2008. 12 нояб. С.13.
4. Постановление Правительства РФ от 06.03.12 №194 «Об утверждении критериев оценки эффективности деятельности органов государственной власти субъектов РФ по осуществлению переданных полномочий РФ в области лесных отношений».

5. Экономические отношения в лесном хозяйстве: из прошлого в будущее / А.П. Петров: цикл лекций. г. Пушкино, Московская область, ФАУ ДПО ВИПКЛХ, 2016. 98 с.

6. Федеральный закон от 28.06.2014 № 172-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «О стратегическом планировании в Российской Федерации».

---

УДК 630.416

## УСЫХАНИЕ ЕЛЬНИКОВ ПРИКАМЬЯ

Иванчина Людмила Александровна,  
аспирант ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [ivanchina.ludmila@yandex.ru](mailto:ivanchina.ludmila@yandex.ru)

Залесов Сергей Вениаминович,  
д-р с.-х. наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [zalesov@usfeu.ru](mailto:zalesov@usfeu.ru)

**Ключевые слова:** Пермский край, зона хвойно-широколиственных (смешанных) лесов, усыхание, устойчивость, ельники.

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос об усыхании еловых насаждений. Приведен обзор установленных авторами закономерностей в усыхании ельников.

## DRYING UP OF SPRUCE STANDS OF PERM REGION

Ivanchina Lyudmila Alexandrovna,  
post-graduate student Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [ivanchina.ludmila@yandex.ru](mailto:ivanchina.ludmila@yandex.ru)

Zalesov Sergey Veniaminovich,  
holder of an Advanced Doctorate in agricultural sciences, professor  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [zalesov@usfeu.ru](mailto:zalesov@usfeu.ru)

**Keywords:** Permsky Kray, coniferous-broadleaved (mixed) forests, drying up, stability, spruce stands.

**Abstract.** The article deals with the problem of the drying of spruce stands. A review of the regularities established by the authors in the drying of spruce forests is given.

Ценным сырьем для целлюлозно-бумажной промышленности являются еловые древостои. Однако, в последние десятилетия во многих регионах России и за её пределами наблюдается массовое усыхание еловых насаждений [1, 2]. Не являются исключением в этом отношении и ельники Пермского края, расположенные в зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов [3].

Проблема усыхания еловых лесов приводит ко множеству негативных последствий: сокращается площадь, покрытая лесом, снижается продуктивность и таксационные показатели еловых древостоев, происходит нежелательная смена пород. Кроме того, усыхание ельников наносит огромный материальный ущерб экономике Пермского края.

Площадь усохших ельников ежегодно увеличивается: только актами лесопатологического обследования по Очерскому лесничеству зафиксированная площадь очагов усыхания ели увеличилась с 183,5 га в 2010 г. до 884,4 га в 2016 году (табл. 1).



Таблица 1

Еловые насаждений Очерского лесничества с наличием очагов усыхания

Участковое лесничество	Количество и площадь обследованных выделов по годам, шт/га							Итого, шт/га
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Большесосновское	-	-	<u>21</u> 386,1	<u>20</u> 377,4	<u>4</u> 42,8	<u>37</u> 586,1	<u>15</u> 294,8	<u>97</u> 1687,2
Оханское	<u>4</u> 72,6	<u>11</u> 113,6	<u>5</u> 57,6	<u>26</u> 402,9	<u>45</u> 640,9	<u>28</u> 413,1	<u>23</u> 458,6	<u>142</u> 2159,3
Очерское	<u>11</u> 110,9	<u>2</u> 11	-	<u>13</u> 144	<u>10</u> 90,8	<u>2</u> 21,9	<u>3</u> 131	<u>41</u> 509,6
Итого	<u>15</u> 183,5	<u>13</u> 124,6	<u>26</u> 443,7	<u>59</u> 924,3	<u>59</u> 774,5	<u>67</u> 1021,1	<u>41</u> 884,4	<u>280</u> 4356,1

К сожалению, ученым так и не удалось прийти к единому мнению о причинах усыхания ельников. Однако логично предположить, что на усыхание ели влияет комплекс факторов.

Авторами установлено, что определенное влияние на устойчивость ели оказывают условия местопрорастания [4, 5]: с увеличением влажности и плодородия почв устойчивость ели к усыханию повышается.

Поскольку для каждого типа лесорастительных условий характерен свой состав древесной растительности, то наблюдается определенная зависимость в устойчивости ельников с различной формулой состава древостоев. В частности, с увеличением в составе древостоев примеси лиственных пород устойчивость ели к усыханию повышается, а с уменьшением – понижается [6]. По мнению авторов, это связано с тем, что в елово-лиственных насаждениях за счет ежегодного опада листвы и их последующего разложения формируются более плодородные почвы. Кроме того, примесь других древесных пород свидетельствует о специфике почвенных условий. В ельниках с примесью сосны наблюдается обратная закономерность: с увеличением в составе древостоев доли сосны устойчивость ели к усыханию уменьшается [7]. Сосна предпочитает сухие песчаные почвы, и по нашему мнению, установленная зависимость объясняется сухостью почв.

С целью установления наиболее устойчивых форм ели к усыханию нами проводились селекционные исследования. Обнаружена форма деревьев ели по строению коры, встречающаяся только среди здоровых экземпляров - гладкая бородавчатая (*cortex levis verrucosa*) (рис. 1). Однако в связи с редкой встречаемостью деревьев ели с указанной формой коры обнаруженный факт нуждается в проверке [8].

По мнению большинства ученых, основной причиной усыхания ельников является жук короед-типограф (*Ips typographus* L.). Нами установлено, что короед-типограф не нападает на тонкомерные деревья 8-12 ступеней толщины, однако деревья указанных ступеней толщины усыхают в значительном количестве.

На наш взгляд, это связано с тем, что у указанных деревьев тонкая кора, и жуку не хватает толщины коры для прокладки внутри её маточного хода, а личинкам для последующего питания [9].

К сожалению, процесс рубки усохших деревьев ели происходит на стадии старого сухостоя, что нецелесообразно и не приводит к положительному результату. С целью предотвращения расширения очагов усыхания санитарные рубки необходимо проводить в момент заселения деревьев вторичными вредителями, поэтому необходимо своевременно выявлять признаки заселения деревьев ели. При этом не происходила бы потеря деловой древесины, поскольку заселенные вредителями деревья пригодны для использования в промышленности.



Рис. 1. Гладкая бородавчатая форма коры ели

Таким образом, проблема усыхания еловых насаждений Прикамья нуждается в глубоком комплексном изучении, в поиске причин усыхания деревьев ели и путей минимизации наносимого ущерба. С этой целью требуется привлечение специалистов из различных областей знаний, для чего необходимо соответствующее финансирование.

Выводы:

1. В зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Пермского края наблюдается увеличение площади очагов усохших еловых насаждений.
2. Установлена зависимость устойчивости еловых древостоев от условий местопроизрастания и доли участия сопутствующих пород в составе древостоев.
3. Короед-типограф не является первопричиной усыхания ельников Прикамья.
4. Необходимы глубокие комплексные исследования по проблеме усыхания ельников Прикамья с привлечением специалистов из различных областей знаний и с выделением целевого финансирования.

#### Список литературы

1. Бабурин А.А., Мельникова А.Б. Усыхание ельников в Большехецирском заповеднике // Леса и лесное хозяйство в современных условиях. Хабаровск: Изд-во ФГУ «ДальНИИЛХ», 2011. С. 217-219.
2. Сазонов А.А., Кухта В.Н., Блинцов А.И. Массовое усыхание еловых лесов Беларуси на рубеже XX – XXI вв. и пути минимизации их последствий // Лесное хозяйство. 2014. № 3. С. 9-12.
3. Иванчина Л.А. Усыхание еловых древостоев на юге Пермского края // Аграрное образование и наука (Электронный журнал). 2016. № 3. URL: <http://con.urgau.ru/ru/issues/17/articles/304>. (Дата обращения: 14.11.2016).
4. Иванчина Л.А., Залесов С.В. Влияние типа леса на устойчивость еловых древостоев Прикамья // Пермский аграрный вестник. 2017. № 1 (17). С. 38-43.
5. Иванчина Л.А., Залесов С.В. Влияние условий местопроизрастания на усыхание еловых древостоев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 2 (64). С. 56-60.
6. Иванчина Л.А., Залесов С.В. Влияние примеси лиственных пород в составе древостоев ельника зеленомошного на их устойчивость // Успехи современного естествознания. 2017. № 6. С. 61-66.

7. Иванчина Л.А., Залесов В.Н. Примесь сосны в составе древостоев насаждений ельника зеленомошного как индикатор их устойчивости // Вестник БГАУ. 2017. № 4. С. 106-110.
8. Иванчина Л.А., Залесов С.В. Устойчивость деревьев ели с различными селекционными формами в насаждениях ельника кисличного в условиях Прикамья // Студенческий научный форум 2018: матер. X Междунар. студ. электронной науч. конф. М.: РАЕ, 2018. URL: <https://www.scienceforum.ru/2018/2995/90>.
9. Иванчина Л.А., Залесов С.В. Влияние короеда-типографа на усыхание одновозрастных древостоев Прикамья в условиях ельника зеленомошного // Студенческий научный форум 2018: матер. X Междунар. студ. электронной науч. конф. М.: РАЕ, 2018. URL: <https://www.scienceforum.ru/2018/2995/90>.

---

УДК 630.160.2

**ОЦЕНКА УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ЗАГОТОВКИ СОРТИМЕНТОВ  
СИСТЕМАМИ МАШИН И ХАРВЕСТЕРНЫХ АГРЕГАТОВ РАЗЛИЧНЫХ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ**

**Якимович Сергей Борисович,**  
д-р техн. наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [jak.55@mail.ru](mailto:jak.55@mail.ru)

**Ефимов Юрий Валерьевич,**  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [yura\\_efimov.83@mail.ru](mailto:yura_efimov.83@mail.ru)

**Ключевые слова:** производительность, удельная энергоемкость, харвестер, валочно-пакетирующая машина, сучкорезно-раскряжевная машина, харвестерная головка.

**Аннотация.** Дана методика расчета удельной энергоемкости заготовки сортиментов на основе показателей производительности и мощности технологического процесса, а также расхода и давления гидропривода. Выполнен сравнительный анализ удельной энергоемкости для системы валочно-пакетирующая машина + процессор и для харвестера. Результаты показали, что, не смотря на высокую производительность системы машин на базе ВПМ, заготовка сортиментов харвестером имеет меньшую удельную энергоемкость.

**EVALUATION OF SPECIFIC ENERGY INTENSITY OF LOGGING SHORTWOOD  
BY MACHINES SYSTEMS AND HARVESTER HEADS OF DIFFERENT  
MANUFACTURERS**

**Yakimovich Sergey Borisovich,**  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [jak.55@mail.ru](mailto:jak.55@mail.ru)

**Efimov Yuri Valeryevich,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [yura\\_efimov.83@mail.ru](mailto:yura_efimov.83@mail.ru)

**Key words:** performance, specific power capacity, harvester, feller-buncher, processor, harvester head.

**Abstract.** The technique of calculating the specific energy intensity of cut-to-length is given on the basis of the productivity and capacity indicators of the technological process, as well as the

*flow and pressure of the hydraulic drive. A comparative analysis of the specific energy consumption for the system of feller-buncher + processor and harvester. The results showed that despite the high performance of the system of machines based on feller-buncher, harvesting sortings harvester has a lower specific energy intensity.*

Основным показателем эффективности той или иной лесозаготовительной машины является удельная энергоёмкость [1], определяющая эксплуатационные затраты. Стоимостные показатели не используются по той причине, что стоимость горюче-смазочных материалов различна и подвержена постоянным изменениям.

Удельную энергоёмкость можно выразить как отношение мощности (кВт) к производительности ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) [2].

Принято считать, что валочно-пакетирующая машина (ВПМ) наиболее эффективна на лесозаготовке, так как имеет высокую производительность [3]. Однако следует отметить, что раньше стоимость топлива была значительно ниже, да и металла в стране было достаточно. В настоящее же время перемещение по лесу значительной массы экономически нецелесообразно по расходу ГСМ.

Проведем сравнительную оценку эффективности работы ВПМ и харвестера при получении конечного состояния продукта – сортимента. Для сравнения были выбраны машины одного производителя *Tigercat*. В первой системе машин валку деревьев производит ВПМ, а обрезку сучьев и раскряжевку – процессор (рис.1). Во втором варианте все операции совершаются харвестером (рис.2). Расчеты приняты на время смены 7 ч, средний объем хлыста 0,4 м<sup>3</sup>. Удельная энергоёмкость по конечному продукту рассчитывалась как отношение суммарной мощности машины и харвестерного агрегата к производительности. Данные занесены в табл. 1.

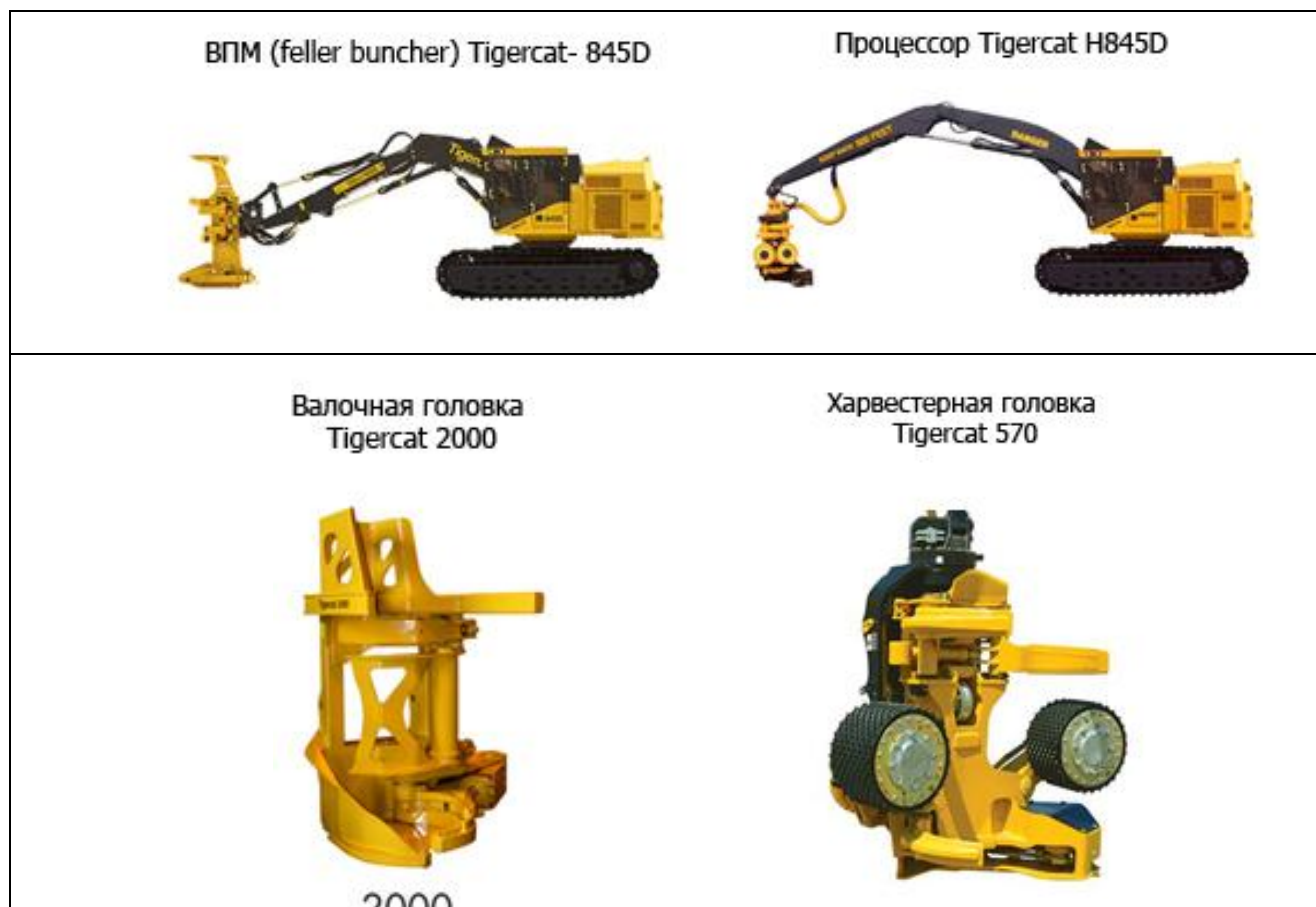


Рис.1. Система машин Tigercat: ВПМ+процессор



Рис.2. Харвестер *Tigercat*

Таблица 1

Сравнительная оценка системы машин ВПМ+процессор с харвестером

	ВПМ (feller buncher) Tigercat- 845D + Валочная головка Tigercat 2000	Процессор Tigercat H845D + Харвестерная го- ловка Tigercat 570	Харвестер Tigercat 1185 + Харвестерная го- ловка Tigercat 570
Мощность двигателя, кВт	210	210	230
Мощность головки, кВт	135	200	200
Суммарная мощность, кВт	755		430
Вес головки, кг	2740	2450	2450
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	43	35	25
Удельная энергоёмкость по конечному продукту, кВт·ч/м <sup>3</sup>	21,57		17,2

При использовании харвестера удельная энергоёмкость заготовки конечного продукта – сортимента выше на 20,3 %, по сравнению с системой машин ВПМ+процессор. Следовательно, при заготовке сортиментов эффективнее использовать харвестер.

Проведенный анализ существующих харвестерных агрегатов показал, что ни у одного производителя харвестерных агрегатов не содержится самого важного показателя в технической характеристике - удельной энергоёмкости.

Для снятия этой неопределенности проведена сравнительная оценка современных харвестерных агрегатов различных производителей. Установленная мощность (кВт) рассчитывалась по параметрам расхода гидрожидкости (л/мин) и давлению создаваемым гидронасосом (бар). Удельная масса головки определяется уровнем техногенеза производителя, чем она меньше, тем более рационально используется данная масса. Данные представлены в табл. 2.

Исходя из рассчитанных показателей, можно увидеть, что даже в рамках одного производителя имеются расхождения в удельной энергоёмкости. Однако прослеживается тенденция: чем больше объем хлыста, тем меньше удельная энергоёмкость, т.е. энергия затрачивается более эффективно. Наибольшую энергоёмкость имеет головка H412 фирмы JOHN DEERE (11,17 кВт·ч/м<sup>3</sup>), наименьшую – головка 928А фирмы LOG MAX (2,75 кВт·ч/м<sup>3</sup>).

Таблица 2

Сравнительная оценка харвестерных агрегатов различных производителей

Производи- тель	Модель	Типо- размер по объему хлы- ста, м3	Уста- новлен- ная мощ- ность, кВт	Типо- размер по диа- метру распи- ла, см	Мас- са, кг	Произ- води- тельность, м3/ч	Удель- ная мас- са го- ловки, кг/м3	Удель- ная энерго- емкость, кВт·ч/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
PONSSE	H5	0,269	100	53	900	16,14	3345,72	6,20
	H6	0,351	140	60	1050	21,06	2991,45	6,65
	H7	0,42	140	65	1150	25,2	2738,10	5,56
	H7 eusa	0,42	140	65	1200	25,2	2857,14	5,56
	H8	0,65	140	78	1250	39	1923,08	3,59
KOMATSU	S92	0,394	110	63	951	23,64	2413,71	4,65
	C93	0,351	110	60	970	21,06	2763,53	5,22
	360.2	0,424	120	65	1245	25,44	2936,32	4,72
	C123	0,424	140	65	1240	25,44	2924,53	5,50
	S132	0,386	140	62,5	1364	23,16	3533,68	6,04
	370.2	0,351	150	60	1470	21,06	4188,03	7,12
	C144	0,592	160	75	1400	35,52	2364,86	4,50
	S172	0,592	150	75	1675	35,52	2829,39	4,22
	<b>370E *</b>	0,351	140	60	1600	21,06	4558,40	6,65
KESLA	16RH	0,179	80	45	445	10,74	2486,03	7,45
	<b>16RHS</b>	0,179	65	45	445	10,74	2486,03	6,05
	18RH	0,179	80	45	450	10,74	2513,97	7,45
	<b>18RHS</b>	0,179	60	45	450	10,74	2513,97	5,59
	25RH	0,455	100	67	790	27,3	1736,26	3,66
	<b>25RHS</b>	0,455	85	67	790	27,3	1736,26	3,11
	28RH	0,455	150	67	1280	27,3	2813,19	5,49
	<b>28RHS</b>	0,455	130	67	1280	27,3	2813,19	4,76
	30RH	0,455	150	67	1400	27,3	3076,92	5,49
	<b>30RHS</b>	0,455	130	67	1400	27,3	3076,92	4,76
	<b>20SH</b>	0,179	44	45	520	10,74	2905,03	4,10
	<b>25SH</b>	0,455	75	67	880	27,3	1934,07	2,75
LOG MAX	928A	0,152	50	42	424	9,12	2789,47	5,48
	4000B	0,225	95	50	666	13,5	2960,00	7,04
	5000D	0,311	95	57	895	18,66	2877,81	5,09
	6000B	0,424	130	65	1385	25,44	3266,51	5,11
	6000Twin	0,424	130	65	1593	25,44	3757,08	5,11
	7000C	0,424	160	65	1708	25,44	4028,30	6,29
	<b>7000 XT</b>	0,424	200	65	2022	25,44	4768,87	7,86
	<b>10000XT</b>	0,71	220	81	3078	42,6	4335,21	5,16
	<b>12000XT</b>	0,885	230	89	4466	53,1	5046,33	4,33
WARATAH	H270 Series II	0,424	160	65	1350	25,44	3183,96	6,29
	H290	0,592	175	75	1970	35,52	3327,70	4,93
	H215E	0,286	150	55	1690	17,16	5909,09	8,74
	HTH250HD	0,311	130	57	950	18,66	3054,66	6,97
	H414	0,379	135	62	1030	22,74	2717,68	5,94
	HTH460	0,592	135	75	820	35,52	1385,14	3,80



Продолжение табл.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	H480C	0,521	160	71	1240	31,26	2380,04	5,12
	<b>HTH622B</b>	0,592	195	75	2120	35,52	3581,08	5,49
SILVATEC	235 MD35	0,179	50	45	615	10,74	3435,75	4,66
	335 MD40	0,225	60	50	862	13,5	3831,11	4,44
	450	0,286	145	55	1024	17,16	3580,42	8,45
	<b>560</b>	0,394	145	63	1350	23,64	3426,40	6,13
	665 MD 70	0,689	180	80	1600	41,34	2322,21	4,35
JOHN DEERE	H412	0,179	120	47	733	10,74	4094,97	11,17
	H414	0,379	135	62	1030	22,74	2717,68	5,94
	H480C	0,521	160	71	1240	31,26	2380,04	5,12
	H758HD	0,311	130	57	950	18,66	3054,66	6,97
	H754	0,592	135	75	820	35,52	1385,14	3,80

\* Примечание: **жирным** шрифтом помечены харвестерные головки для экскаватора.

Для рационального выбора системы машин для заготовки сортиментов необходимо руководствоваться следующими способами интенсификации [4, 5]:

- управление способами комплектования машин «харвестер – форвардер», так как покупаются обычно системы с обрабатывающей и транспортной машиной;
- управление схемами заготовок, в которых учтены все влияющие на снижение удельной энергоемкости факторы с учетом изменяющихся по параметрам лесосек;
- управление параметрами грузоподъемности – чем меньше масса машины и харвестерного агрегата, тем лучше.

Проведенные исследования могут быть использованы для выбора наиболее эффективной системы машин для заготовки сортиментов, а также для подбора харвестерного агрегата.

### Список литературы

1. Якимович С.Б. Постановка и решение задачи синтеза оптимального управления технологическими процессами лесозаготовок//Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2003. № 5. С. 96 – 103.
2. Якимович С.Б. Теория синтеза оптимальных процессов: проектирование систем заготовки и обработки древесины и управление ими. Московский гос. ун-т леса; Марийский гос. техн. ун-т. - Пермь.: Изд-во Пермской ГСХА, – 2006. – 249 с.
3. Управление лесопромышленным бизнесом на основе стратегического планирования освоения лесных ресурсов региона (на примере стратегии развития лесопромышленного комплекса ООО «Алмас» Республики Саха (Якутия)): монография / Мехренцев А.В., Стариков Е.Н., Якимович С.Б., Швамм Л.Г., Иматова И.А., Мезенова В.В., Прядилина Н.К., Капустина Ю.А., Ростовская Ю.Н., Долженко Л.М., Мезенина О.Б., Ефимов Ю.В., Швамм Е.Е., Аммосова С.П., Чахов Д.К., Евсеев М.В., Капитонов А.П. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 256 с.
4. Якимович С.Б., Тетерина М.А. Сравнительная оценка способов комплектования систем машин для заготовки сортиментов //Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2014. № S2. С. 46 – 50.
5. Медовщиков В.Ф., Тетерина М.А., Якимович С.Б. Способы интенсификации заготовки древесины (на примере системы "харвестер-форвардер") // Инновации – основа развития целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности: материалы IV Всероссийской отраслевой научно-практической конференции, г. Пермь, 18-19 марта 2016. – Т.2. С.90 – 101.



УДК 630\*181

## ПРОБЛЕМЫ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛУЩЕНОГО ШПОНА

Газизов Асгат Мазхатович,  
д-р техн. наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [ashatgaz@mail.ru](mailto:ashatgaz@mail.ru)

Гарбовский Дмитрий Алексеевич,  
магистрант ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [garbovskydmitry@yandex.ru](mailto:garbovskydmitry@yandex.ru)

**Ключевые слова:** шпон лущеный; тепловая обработка; нагревание древесины; варочные бассейны.

**Аннотация.** В статье приведены новые подходы в области гидротермической обработки древесины, позволяющие повысить качество пропаривания, снизить расход сырья; полученные результаты дают возможность применения их в производстве фанеры из лущеного шпона.

## PROBLEMS OF HYDROTHERMAL PROCESSING OF RAW MATERIALS FOR PRODUCTION OF THE PEELED VENEER

Gazizov Asgat Mazhatovich,  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, professor  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [ashatgaz@mail.ru](mailto:ashatgaz@mail.ru)

Garbowski Dmitry Alekseevich,  
second year master student of Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [garbovskydmitry@yandex.ru](mailto:garbovskydmitry@yandex.ru)

**Key words:** rotary cut veneer; heat treatment; heating the wood; the cooking pools.

**Abstract.** In the article new approaches in the field of hydrothermal treatment of dry-spring, allowing to improve the quality of steaming, to reduce the consumption of raw materials; the resulting results make it possible to use them in the production of plywood veneer.

В современных условиях, когда повышаются требования к качеству выпускаемой продукции, необходимо определять новые пути совершенствования технологических операций. Для выполнения этого условия требуется разработать базовые определения, позволяющие осуществлять более глубокие научные подходы в изучении тепловых процессов, которые составляют основу большинства технологических операций, связанных с древесиной. В данном случае - это тепловая обработка древесины для лущения, которая является одной из наиболее трудоемких и затратных операций.

Несмотря на то, что существуют уже рассчитанные режимы гидротермической обработки, на реальных предприятиях их унифицируют, и обработка производится в течение 24 часов в зимних условиях, и в течение 18 часов – в летних. Из-за того, что на рассматриваемом предприятии отсутствует сортировка сырья в зависимости от диаметра, и при тепловой обработке ориентироваться приходится на средний диаметр, оставшееся количество сырья может быть пере- или недодержанным.

Соблюдение правильных режимов тепловой обработки очень важно. Например, если древесина будет не доварена, лущение не производят, так как заданной пластичности воло-

кон не будет, шпон будет ломаться и крошиться, на нем появятся трещины, поверхность будет неровной, «рубленной». Если древесина будет переварена, то при лущении поверхность шпона будет напоминать мочало, волокна также потеряют свою пластичность, под лезвием ножа волокна будут мяться, а не срезаться. В этом случае перепаренную древесину откладывают в сторону для частичного остывания, а затем лущат.

Все это существенно уменьшает эффективность обработки сырья, что, в конечном счете, влияет на качество и сортность шпона и самой фанеры. Также приведенные режимы учитывают температуру воздуха, но не учитывают температуру самого сырья, что являлось бы более достоверным фактором [1]. Существуют методы расчета, позволяющие рассчитать нужное время гидротермической обработки, в зависимости от температуры и влажности сырья, и дать наиболее точные режимы обработки.

Цель исследования: изучение и анализ качества существующей системы гидротермической обработки сырья; сбор данных, необходимых замеров параметров на производстве; расчет режимов гидротермической обработки сырья, с использованием полученных ранее данных; предоставление рекомендаций, разработка систем и методов, позволяющих повысить эффективность гидротермической обработки.

В процессе лущения и строгания шпона в нем возникают растягивающие напряжения поперек волокон, величина которых может определяться по формуле:

$$\sigma = \frac{E \cdot S}{2 \cdot R},$$

где  $E$  – модуль упругости шпона поперек волокон древесины, МПа;  $S$  – толщина шпона, мм;  $R$  – радиус чурака, мм.

Технология резания рассматривается как процесс получения тонкого слоя древесины, который должен быть плотным и гладким (не иметь трещин). В процессе резания снимаемый слой изгибается, изменяя первоначальную форму, в результате чего на левой растянутой стороне шпона возможны трещины. Чтобы избежать трещин, искусственно усиливают деформативность древесины. Для этого сырье подвергают гидротермической обработке (увлажнение и нагрев) [2].

На ООО «Уфимский фанерный комбинат» гидротермическая обработка древесины осуществляется выдержкой древесины в воде открытых варочных бассейнов (проваривание) при мягком режиме. Мягкие режимы характеризуются температурой среды (воды) 35...45 °С и длительностью обработки.

Система открытых варочных бассейнов состоит из 10 секций размером 25×8,45×3 м каждая. На торцах секций имеются дырчатые паропроводы с теплоносителем, насыщенным паром под давлением 3...5 атм. На торцах секций имеются трубопроводы: с одной стороны холодной технической воды, с другой конденсата. Секция №1 – общая (для чурака), секция №8 – резервная. В каждую секцию при загрузке чураком пачками вмещается до 150 м<sup>3</sup> фанерного сырья, длиной в пачках до 200 м<sup>3</sup> (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид секции бассейна



Рис. 2. Загрузка пачек в секции бассейна

Загрузка и выгрузка пачек в секции производится одновременно, причем в первую очередь выгружаются пачки, находившиеся в бассейне не менее 24 часов (рис.2).

Пачки с сырьем укладываются одна к другой: ряд пачек вдоль крепится тросами к перилам, чтобы пачки не расплывались, а следующий ряд крепится стропами к стропам первого ряда. Вновь загруженные пачки в секциях сверху закрываются массивными деревянными крышками, которые служат грузом (рис. 3).



Рис. 3. Крышки секций бассейна

Пропаренное сырье затем подается на конвейер, затем по нему поступает в цех раскряжевки, а затем в цех лущения.

Поэтому была разработана программа исследования:

- 1) Изучить качество существующей системы гидротермической обработки сырья, соотнести с дефектами, которые проявляются на лущеном шпоне.
- 2) Провести необходимые замеры параметров на производстве.
- 3) Используя данные замеров, произвести расчеты режимов пропарки сырья.
- 4) Применить на производстве полученные режимы гидротермической обработки сырья, проанализировать их применимость.
- 5) Предложить системы и методы, позволяющие повысить эффективность гидротермической обработки.

### Список литературы

1. Газизов А.М., Абубякярова Д.А. Разработка режимов гидротермической обработки сырья для производства лущеного шпона // Вестник БГАУ / Vestnik BSAU. 2015. № 3. С.81-84.
2. Газизов А.М., Кузнецова О.В. Исследование режимов тепловой обработки сырья перед лущением // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды XI Международного евразийского симпозиума. / [под научной ред. В. Г. Новоселова] ; Минобрнауки России, Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, 2016. С. 58–60.

УДК 674.05

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЗАТРАТ ВРЕМЕНИ ОПЕРАЦИИ РАСПИЛОВКИ СЫРЬЯ НА ЛЕСООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКАХ

Чамеев Василий Владимирович,

канд. техн. наук, доцент,

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,

г. Екатеринбург, E-mail: [chameev47@yandex.ru](mailto:chameev47@yandex.ru)

Иванов Виктор Вячеславович,

канд. техн. наук, доцент,

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,

г. Екатеринбург, E-mail: [victor.82@mail.ru](mailto:victor.82@mail.ru)

Терентьев Виталий Викторович,

канд. с-х. наук, доцент,

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, E-mail: [terentevv@rambler.ru](mailto:terentevv@rambler.ru)

**Ключевые слова:** лесобработывающий станки, математическое описание длительности циклов раскроя лесоматериалов, вероятностные теоретические распределения.

**Аннотация.** Определены типы вероятностей теоретических распределений случайной величины – длительность распиловки лесоматериалов на лесобработывающих станках. Выявлена целесообразность описания случайной величины распределением Эрланга для решения задач аналитическими методами и методами имитационного моделирования.

## MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE TIME OPERATION RAW MATERIAL SOLVING ON FOREST-MACHINING MACHINES

Chameev Vasily Vladimirovich,

Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor Ural State Forest Engineering University,

Yekaterinburg, E-mail: [chameev47@yandex.ru](mailto:chameev47@yandex.ru)

Ivanov Victor Vyacheslavovich,

Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor Ural State Forest Engineering University,

Yekaterinburg, E-mail: [victor.82@mail.ru](mailto:victor.82@mail.ru)

Terentyev Vitaliy Viktorovich,

Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor Ural State Forest Engineering University,

Yekaterinburg, E-mail: [terentevv@rambler.ru](mailto:terentevv@rambler.ru)

**Key words:** woodworking machines, mathematical description of the duration of timber cutting cycles, probabilistic theoretical distributions.

**Abstract.** The types of the theoretical probability distribution of the random variable - length of cutting timber in the forest processing machines. The expediency of describing a random variable by the Erlang distribution for solving problems by analytical methods and methods of simulation is revealed.

При решении различных технологических задач традиционными методами, в том числе аналитическими, при применении имитационного моделирования необходимы сведения о длительностях распиловки (циклах) лесоматериалов. Во многих случаях сведения только о средних длительностях циклов распиловки недостаточно.

Требуется полная характеристика случайной величины (продолжительность распиловки является случайной величиной [1,2]). В простейшем случае дополнительно к среднему значению необходимы также сведения о среднем квадратическом отклонении, типе вероятностного теоретического распределения случайной величины.

Средние значения случайных величин можно получить на основе традиционных инженерных методов. Среднее квадратическое отклонение или коэффициенты вариации по данным работы [1] для лесообрабатывающих станков ориентировочно составляют  $\sigma = 0,33t_{\text{ср}}$ , где  $t_{\text{ср}}$  – среднее значение случайной величины. Типы вероятностных теоретических распределений – из технической литературы.

Более точные данные получают в результате обработки статистических данных, собранных в производственных условиях [3,4] или на имитационных моделях [5]. Ниже приводятся сведения о результатах обработки 189 выборок хронометражных наблюдений за операциями раскроя лесоматериалов на различных типах станков в лесообрабатывающих цехах Уральского региона, включающих 26636 замеров [6].

Анализ гистограмм показал, что чем ближе находится значения случайной величины  $t_{\text{ср}}$  к началу отсчета (при  $t > 0$ ), тем асимметричнее становятся кривые вероятностных распределений, достигая крайней ее формы – экспоненциального распределения. По мере удаления значения  $t_{\text{ср}}$  по оси абсцисс вправо асимметричность постепенно уменьшается и в конечном итоге вероятностные распределения приближаются к нормальному распределению. Между этими крайностями выборки имеют различной степени положительную асимметрию, характерную для асимметричных распределений – логарифмически нормального и Эрланга распределениями.

Нормальный закон распределения характеризуется функцией плотности вероятности вида

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-a}{\sigma}\right)^2\right\},$$

где  $a$  и  $\sigma$  – параметры распределения, численно равные среднему значению и среднеквадратическому отклонению случайной величины  $t$ .

Функция плотности логнормального распределения характеризуется двумя параметрами  $a$  и  $\sigma$  и имеет вид

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - a}{\sigma}\right)^2\right\},$$

где  $a = \ln t_{\text{ср}} - \frac{1}{2} \ln\left(\frac{\sigma_t^2}{t_{\text{ср}}^2} + 1\right)$ ;  $\sigma^2 = 2 \ln t_{\text{ср}} - 2a$ .

Распределение Эрланга имеет функцию плотности

$$f(t) = \frac{\mu(\mu t)^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\mu t},$$

где  $\mu$  – параметр распределения

$$\mu = \frac{t_{\text{ср}}}{\sigma_t^2};$$

$k$  – порядок Эрланга, целое положительное число  $k = \frac{t_{\text{ср}}^2}{\sigma_t^2}$ .

Экспоненциальное распределение имеет функцию плотности

$$f(t) = \mu e^{-\mu t},$$

где  $\mu$  – параметр, численно равный обратной величине среднего значения случайной величины.

Обработка статистического материала подтвердила правильность выбора теоретических вероятностных распределений. Из 189 выборок по критерию  $P(\chi^2)$  Пирсона удалось математически описать теоретическими распределениями 87,3% выборок. Только у 24 статистических выборок (12,7%) вероятность  $P(\chi^2)$  оказалась несколько меньшей критической (0,1). Преобладающим распределением оказалось логнормальное (52,1%), нормальным распределением описано 31,8% выборок. С распределением Эрланга и экспоненциальным согласуется только 16,1% выборок.

Несколько другие значения будут для отдельных групп станков. Так, для головных станков группового деления (распиловки) ГСГрД (головные станки проходного типа преимущественно одноэтажные лесопильные рамы) круглых лесоматериалов экспоненциальным распределением было описано 4,6% выборок, распределением Эрланга – 5,7%, логнормальным – 59,1% и нормальным распределением 21,6% выборок.

Головные однопильные круглопильные и ленточнопильные для индивидуального деления (распиловки) бревен (ГСИД) позиционно-проходного типа с подающими тележками или подающими столами (станки типа ЦДТ или ЛБ) описались следующими распределениями: экспоненциальным – 9,5% выборок; Эрланга – 12,2%; логнормальным – 39,9%; нормальным распределением – 27,7% выборок.

Анализ приведенных данных с учетом логики процесса позволяет сделать следующие выводы.

1. Средние значения длительностей распиловки лесоматериалов у теоретических вероятностных распределений по отношению к началу отсчета ( $t = 0$ ) располагаются в следующей последовательности (слева направо): экспоненциальное распределение; распределение Эрланга и логнормальное; нормальное распределение (чем больше средний диаметр распиливаемого сырья, тем больше средняя длительность его распиловки);

2. Тип вероятностного теоретического распределения описывающего длительность распиловки на головных станках: при распиловке тонкомерного сырья – экспоненциальное распределение; при распиловке сырья средних толщин – асимметричные распределения (Эрланга и логнормальное); крупномерное сырье – нормальное распределение.

3. ГСГрД по сравнению с ГСИД распиливают сырье средних толщин на 12,7% больше.

4. ГСИД по сравнению с ГСГрД распиливают крупномерное сырье на 6,1% больше.

На время цикла распиловки сырья и полуфабрикатов в лесообрабатывающих цехах действует множество случайных факторов. Среди них есть и преобладающие. Например, применительно к распиловке круглых лесоматериалов на станках ГСИД основным доминирующим фактором является диаметр распиливаемого сырья. При раскросе сырья диаметром 18-24 см, со среднеквадратическим отклонением в 3-7 см, время цикла распиловки сырья описывается экспоненциальным распределением, при среднем диаметре сырья 23-30 см – логнормальным и при 20-24 см – нормальным.

Вид теоретического распределения описывающего операцию распиловки сырья на станках ГСИД зависит и от среднего значения времени цикла выполнения операции. При длительности цикла 40-60 с операция распиловки сырья описывается экспоненциальным распределением, при 75-125 с – логнормальным, при 80-140 с – нормальным [6].

Аналогично и для станков ГСГрД. При распиловке круглых лесоматериалов из мелкой и средней групп по толщине, длительность цикла описывается логнормальным распределением, а из крупной – нормальным [7].

Приведенные выше виды теоретических вероятностных распределений, описывающих длительности распиловки лесоматериалов на лесообрабатывающих станках, пригодны для аналитических расчётов и в полной мере для имитационного моделирования. Лесообрабатывающие станки объединяют в станочные системы. Для исследования их работы применяют аналитические методы, особое место среди которых занимает теория массового обслужи-

ния (ТМО). Пропускная способность и другие характеристики систем массового обслуживания сравнительно мало зависят от вида закона распределения времени обслуживания, а зависят, главным образом, от среднего значения времени обслуживания.

Таким образом, в ТМО чаще всего пользуются допущением, что время обслуживания распределено по показательному закону или закону Эрланга. Эта гипотеза упрощает математический аппарат, применяемый для решения задач ТМО, а также в ряде случаев, позволяет получить простые аналитические формулы для определения характеристик системы массового обслуживания (СМО) [8] и получить в результате несложных вычислений конкретные характеристики функционирования СМО [9].

По мнению специалистов, если некоторые эмпирические распределения длительностей обслуживания заявок (требований) не описываются распределением Эрланга, то это не дает повода отвергать это распределение. Замена реального распределения на распределение Эрланга для лесоперерабатывающих цехов допустимо [1,8,10]. Формулы Эрланга остаются справедливыми при любом законе распределения времени обслуживания, лишь бы входной поток был простейшим [8].

Математические модели ТМО обладают некоторой универсальностью. Они учитывают асимметричность распределения длительностей обслуживания, которая связана с толщиной круглых лесоматериалов, распиливаемых на головных станках. При распиловке тонкомерного сырья наиболее приемлема математическая модель, в которой длительность обслуживания подчиняется экспоненциальному закону. С увеличением толщины сырья асимметричность уменьшается и постепенно распределение приближается к нормальному. В этом случае длительность обслуживания близка к распределению Эрланга (при параметре распределения Эрланга  $k > 5$  распределение Эрланга переходит в нормальное). Если распиливается сырье нескольких назначений, то могут применяться модели, в которых насчет типа распределения длительности обслуживания не дается ни каких указаний.

Распределение продолжительности рабочих циклов лесных подъемно-транспортных и лесоперерабатывающих машин подчиняется законом Эрланга с величиной параметра  $k$  от 4 до 16 [11]. По данным работы [1] коэффициент вариации случайной величины – длительность цикла лесоперерабатывающих станков, составляет 0,33. Порядок распределения Эрланга  $k$  можно получить из выражения

$$V = \frac{\sigma}{t} = \frac{1}{\sqrt{k+1}} = \frac{1}{3}.$$

После преобразований получаем значения  $k$  при  $V = 0,33$

$$k = \frac{1}{V^2} - 1 \approx 8,$$

где  $V$  – коэффициент вариации в долях от 1;

$t$  – среднее значение случайной величины;

$\sigma$  – среднее квадратичное отклонение.

При коэффициенте вариации  $V = 1$  (100%)  $k = 0$  (распределение Эрланга переходит в экспоненциальное, при  $V = 0,1$  (10%)  $k = 99$ , при  $V = 0,13$  (13%)  $k = 5$ , т.е. распределение Эрланга при ( $k > 5$ ) становится более симметричным и приближается к нормальному распределению.

В заключении отметим следующее.

На основании обработки статистических данных (189 выборок) установлено, что длительность обработки сырья есть случайная величина, описываемая рядом теоретических вероятностных распределений.

Выявлены основные, доминирующие факторы влияющие на тип теоретического вероятностного распределения случайной величины – длительности раскроя сырья на головных станках лесоперерабатывающих цехов.



Обоснована целесообразность описания случайной величины – длительность распиловки сырья на головных станках, распределением Эрланга для решения различных задач аналитическими методами теории массового обслуживания (ТМО), методами имитационного моделирования. Предложена методика определения параметра распределения Эрланга  $k$  с использованием коэффициента вариации.

## Список литературы

1. Редькин А.К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок: Учебник для вузов. - М.: Лесн. пром-сть, 1988. - 256 с.
2. Чамеев В.В. Анализ результатов статистических наблюдений за операцией раскря лесоматериалов в лесобрабатывающих цехах // Исследование операций раскря лесоматериалов и их математическое описание: Отчет о НИР/УЛТИ N 33/75; Руководитель Н.В.Лившиц; исполн. В. В. Обвинцев, В.В. Чамеев, Т. П. Тихомирова и др.; N ГР 75017828; Инв. N Б491440. - Свердловск, 1975. - 72 с.
3. Лившиц Н.В., Обвинцев В.В., Чамеев В.В. Проведение статистических исследований в лесоперерабатывающих цехах леспромхозов // Науч. тр./СНИИЛП.- Лесозэксплуатация.- Свердловск, Средне-Уральское изд-во.- 1977.-С. 128-133.
4. Еремеев А.А., Федотова О.А., Бобыкина Е.Г., Чамеев В.В., Меньшиков Б.Е. Разработка журнала статистических наблюдений для станков проходного типа при раскря круглых лесоматериалов на пилопродукцию // Леса России и хозяйство в них: Вып. 2 (36) / Урал. гос. лесотехн. ун-т.- Екатеринбург, 2010.- С. 51-57.
5. Чамеев, В.В. Математическая модель, моделирующий алгоритм и результаты расчёта на имитационной модели влияния параметров сырья на временные показатели работы лесоперерабатывающих станков / В.В. Чамеев, Ю.В. Ефимов, Ю.И. Усольцева // Молодой учёный.- 2016.- № 8 (112). -Часть III.- С. 349-354.
6. Лившиц Н.В., Обвинцев В.В., Чамеев В.В. Математическое описание операций раскря сырья и полуфабрикатов в лесоперерабатывающих цехах леспромхозов // Межвуз. сб. науч. тр. /Ленингр. лесотех. акад.- 1977.- Вып. 6.- Лесосечные, лесоскладские работы и сухопутный транспорт леса.- С. 106-110.
7. Чамеев В.В., Обвинцев В.В. Определение цикловых затрат времени при распиловке круглых лесоматериалов на лесопильных рамах для проектирования лесоперерабатывающих цехов на ЭВМ // Перспективы повышения эффективности лесозаготовительного производства в XI пятилетке: Тез. докл., Свердловск: СНИИЛП.- 1980.- С. 66 - 68.
8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Изд. 4-е, стереотип.: учебник для вузов.- М.: Наука, 1969.- 576 с.
9. Чамеев В.В. Решение задач анализа и синтеза на имитационных моделях: обоснование межоперационных запасов в станочных системах аналитическими методами / В.В. Чамеев, В.В. Иванов, Б.Е. Карылин, П.С. Кулаков, К.Ю. Гаев // Технологии. Техники. Инженерия. Международный научный журнал.- № 2(4).- 2017.- С. 13-18.)
10. Редькин А.К. Применение теории массового обслуживания на лесозаготовках.- М.: Лесн. пром-сть, 1973.- 152 с.
11. Алябьев В.И. Оптимизация производственных процессов на лесозаготовках.- М.: Лесн. пром-сть, 1977.- 232 с.

УДК 674.07

## К ВОПРОСУ КРАШЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

Санникова Дарья Александровна,  
магистрант первого курса ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, E-mail: [daria-d9@yandex.ru](mailto:daria-d9@yandex.ru)

Газеев Максим Владимирович,  
д-р техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [gazeev\\_m@list.ru](mailto:gazeev_m@list.ru)

**Ключевые слова:** отделка древесины, красящие составы, лакокрасочный материал.

**Аннотация.** В работе сравниваются два типа лакокрасочных материалов для искусственного изменения цвета древесины: морилка водно-спиртовая на основе гуминовых материалов и концентрат красителя *Herberts Beizenkonzentrat P10*. Проводится выбор наилучшего материала в совокупности с методом его нанесения с точки зрения соотношения цена-качество.

## REVISITING THE DYEING OF WOOD WORKPIECE SURFACE

Sannikova Daria Aleksandrovna,  
first year master student of Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [daria-d9@yandex.ru](mailto:daria-d9@yandex.ru)

Gazeev Maxim Vladimirovich,  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Associate Professor  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [gazeev\\_m@list.ru](mailto:gazeev_m@list.ru)

**Key words:** wood finishing, dye compositions, coating material.

**Abstract.** The article is centred on the intercomparison two types of coating materials for artificial color change of wood: a water-alcohol wood stain based on humic materials and *Herberts Beizenkonzentrat P10*. The choice of the best material and the method of application with optimum ratio Price-Quality is carried out.

Улучшение защитно-декоративных свойств древесины – неотъемлемое условие ее применения в производстве мебели и столярно-строительных изделий – основано на грамотно организованном проведении процесса отделки. Обилие на рынке лакокрасочных материалов различной природы и ценовой категории приводит к трудностям выбора наиболее выгодного для потребителя материала.

В технологии отделки изделий из древесины очень часто применяют операцию поверхностного крашения, для придания древесине новой окраски или усиления ее натурального тона. Для этой цели применяют специальные красящие составы [1, 2].

В данной работе было выбрано два типа лакокрасочных материалов: первый, морилка 0,5 водно-спиртовая ТУ 494К-А103-001-96 на основе гуминовых материалов и бутилового спирта, относится к красителям естественного происхождения [3], имеющего сравнительно низкую стоимость (порядка 100 руб/л); второй, *Herberts Beizenkonzentrat P10* – концентрат красителя, используемый, в основном, в смесях с лаками, но также и как самостоятельный краситель после разбавления с растворителем – имеющего стоимость порядка 1000 руб/л [4].

На сосновые образцы размером 160×70×20 мм были нанесены материалы:

- морилка гуминовая двумя методами: нанесением кистью и полусухим распылением;
- *Beizenkonzentrat P10* двумя методами: полусухим распылением и избыточным пневматическим распылением с последующим вытиранием излишек.

Все исследуемые образцы приобрели "негативную" цветовую структуру, что объясняется особенностью строения сосны: малая плотность весенней части годовых колец способствует более интенсивному впитыванию материала, а следовательно, приобретению более темной окраски [5].

Полусухое распыление в сочетании с раствором концентрата *Beizenkonzentrat P10* 1:5 с растворителем 646 способствовало формированию наиболее равномерной и декоративной окраски, даже, несмотря на ее "негативную" цветовую структуру.

Если же учесть экономический аспект применения лакокрасочных материалов, то выбор также останавливается на *Beizenkonzentrat P10*, несмотря на то, что его цена в 10 раз выше стоимости морилки. Дело в том, что использование гуминовой водно-спиртовой морилки потребовало большего – примерно в 17,5 раз – расхода материала при аналогичном методе нанесения (полусухое распыление) при тех же условиях.

Более того, использование морилки привело к значительному поднятию ворса: до 48% при нанесении кистью и до 34% при полусухом распылении, вследствие чего возникает необходимость проведения операции промежуточного шлифования.

Нанесение материала *Beizenkonzentrat P10* не повысило шероховатости древесины, что упрощает технологический процесс (отсутствие стадии промежуточного шлифования). Нанесение избыточным распылением оказалось нецелесообразно: большие потери ЛКМ (около 50%) не компенсировались улучшением качества покрытия.

Таким образом, выбор в качестве лакокрасочного материала морилки с целью понижения величины затрат не оправдан. Наиболее декоративная окраска в сочетании с наименьшими затратами достигается путем полусухого пневматического распыления раствора концентрата *Beizenkonzentrat P10*.

## Список литературы

1. Бухтиярова Г.А. Технология отделки мебели. Учебник для техникумов. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 152 с.
2. Газеев М.В. Формирование лакокрасочных покрытий на древесине с применением красящего состава на основе алкидных смол: автореферат дис. канд. техн. наук. 05.21.05 - Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки. Екатеринбург., 2004. – 20 с.
3. Беляева К.П., Тодорова Т.В., Штанько Н.Г., Лакокрасочные материалы для отделки изделий из дерева. - М.: 1971. – 160 с.
4. Концентрат красителя P10 [Электронный ресурс] / URL: <http://kraskinet.com.ua/shop/herlac/beizenkonzentrat-p10> (дата обращения: 13.03.2018)
5. Пособие технолога по лаковой отделке мебели. М.: ООО «ЛИГА», 2010. –100 с.

УДК 674.419

## ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЯ НА ДРЕВЕСИНЕ С РЕНТГЕНОЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Шишкина Светлана Борисовна,  
старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический  
университет», г. Екатеринбург, E-mail: [shesveta.81@mail.ru](mailto:shesveta.81@mail.ru)

Ветошкин Юрий Иванович,  
канд. техн. наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [mod@usfeu.ru](mailto:mod@usfeu.ru)

Газеев Максим Владимирович,  
д-р техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [gazeev\\_m@list.ru](mailto:gazeev_m@list.ru)

**Ключевые слова:** рентгенозащитные стеновые панели, лакокрасочная композиция, высоковязкий состав, метод нанесения.

**Аннотация.** В статье представлены результаты сравнительного анализа технологических процессов отделки рентгенозащитных стеновых панелей с применением различных способов нанесения состава и видов отверждения покрытия.

## FORMATION OF A COATING ON WOOD WITH X-RAY PROTECTIVE PROPERTIES

Shishkina Svetlana Borisovna,  
Senior Lecturer, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [shesveta.81@mail.ru](mailto:shesveta.81@mail.ru)

Vetoshkin Yuri Ivanovich,  
Ph.D. of Engineering Sciences, Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [mod@usfeu.ru](mailto:mod@usfeu.ru)

Gazeev Maxim Vladimirovich,  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [gazeev\\_m@list.ru](mailto:gazeev_m@list.ru)

**Key words:** X-ray protective wall panels, paint and varnish composition, high viscosity composition, application method.

**Abstract.** The article presents the results of a comparative analysis of technological processes for finishing X-ray protective wall panels using various methods for applying the composition and types of coating curing.

Немаловажным условием применения новых лакокрасочных композиций для изготовления продукции специального назначения в деревообработке является возможность осуществить технологический процесс формирования защитных покрытий на их основе непосредственно на производстве или с минимальным количеством затрат на его организацию. Т.к. защитные свойства лакокрасочной композиции (ЛКК) на основе природного минерала проявляются только при нанесении на подложку, необходимо подобрать технологические режимы для формирования ЗДП и представить на реализацию изделие со специфическими свойствами.

В ходе изготовления изделия формируется однослойное непрозрачное покрытие (рис. 1) повышенной толщины на щитовых деталях.

В соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 33095-2014 «Покрyтия защитно-декоративные на мебели из древесины и древесных материалов. Классификация и обозначение» данное покрытие обозначаем следующим образом: покрытие защитное на основе ПВАд – II. Н. ЗП. М. 6 С (II – второй класс; Н – непрозрачное; ЗП – с закрытыми порами; М – матовое; 6 С – водо-, тепло-, морозостойкое, стойкое к воздействию химических реагентов, пищевых продуктов и других веществ).

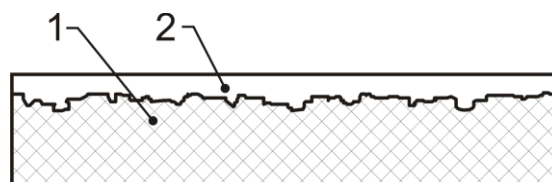


Рис. 1. Структурная схема покрытия: 1- подложка, 2 – лакокрасочная композиция.

Использование лакокрасочных материалов высокой вязкости снижает расход растворителей, позволяет формировать более толстое покрытие за одно нанесение, сокращает время сушки [1]. Однако нанесение высоковязких составов может осуществляться ограниченным количеством способов. Наиболее распространенным из них является вальцовое нанесение (рис. 2). Сущность метода окраски вальцами заключается в подаче определенного количества лакокрасочного материала, распределении его между вальцами и переносе некоторой его части на движущуюся подложку. Метод имеет следующие преимущества:

высокая производительность окраски (скорость перемещения окрашиваемой подложки достигает 200 м/мин при ширине изделия 1800 мм и более);

минимальные потери лакокрасочных материалов;

сокращение расхода растворителей, так как содержание сухого остатка применяемых материалов значительно ниже, чем содержание сухого остатка материалов, применяемых при окраске другими методами;

возможность автоматизации процесса окраски;

получение равномерных по толщине покрытий с одинаковыми декоративными и защитными свойствами по всей окрашиваемой поверхности;

возможность получения утолщенных покрытий (до 500 мкм одноразовое нанесение).

Недостатком метода являются: возможность окраски только плоских изделий: листового стали, фанеры, металлической ленты, щитов из древесностружечной плиты и др.; строгое соблюдение таких технологических параметров как рабочая вязкость материала, скорость подачи подложки и качество ее поверхности.

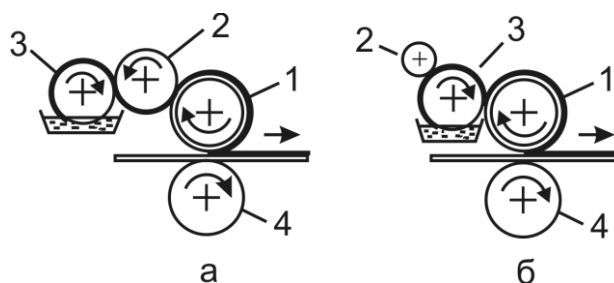


Рис. 2. Схемы расположения вальцов при нанесении лакокрасочных материалов методом обратной ротации, отличающиеся различным расположением регулирующего вальца:

а, б — способы подачи лакокрасочного материала; 1 — наносящий валец;

2 — регулирующий валец; 3 — питающий валец; 4 — опорный валец

Предпочтительнее использовать машины обратной ротации, где направление вращения наносящего вальца противоположно направлению движения подложки. Так можно получить за один проход толщину покрытия от 15 до 300 мкм и выше с гладкой и ровной поверхностью. Толщина покрытия на подложке зависит от величины зазора между питающим вальцом или дозирующим устройством и регулирующим вальцом, соотношения скоростей вальцов и ленты. Привод наносящего вальца в машинах обратной ротации должен иметь плавную регулировку скорости и более высокую мощность, чем в машинах прямой ротации, так как из-за различного направления скоростей и отсутствия зазоров возрастает сопротивление вращению вальца. Эластичное покрытие наносящего вальца должно обладать повышенной устойчивостью к истиранию, а окрашиваемая лента не должна иметь большой шероховатости и заусенцев, острых кромок и др.

Чтобы высоковязкая шпатлевка заполнила отдельные впадины (структурные и анатомические неровности, трещины, вмятины), в конструкции станка необходим дополнительный втирающий валец, а в некоторых случаях и шпатлевочное устройство в виде тонкой металлической пластины (шпателя) с заостренным краем (рис. 3). Шпатель, расположенный под углом к детали, вдавливает шпатлевку в углубления, счищает ее избыток с поверхности и выравнивает покрытие.

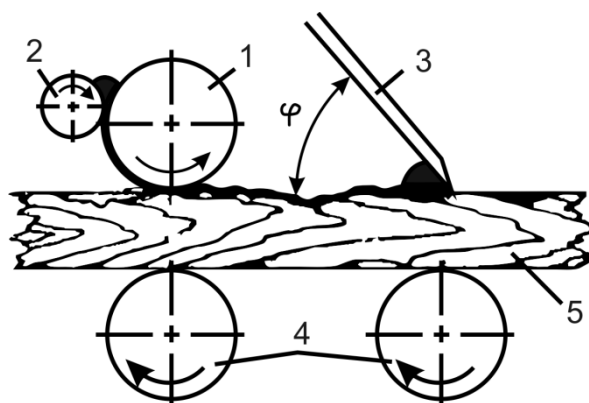


Рис. 3. Принципиальная технологическая схема шпатлевочного станка с упругим шпателем:  
1 — наносящий валец; 2 — дозирующий валец; 3 — шпатель; 4 — подающие вальцы;  
5 — деталь

Однако готовые стеновые панели не всегда возможно использовать для обустройства специализированных помещений [2]. Кроме того, состав ЛКК позволяет использовать ее в качестве материала строительного назначения, но предприятия этой отрасли могут не иметь участков отделки и приобретение линий для работы с лакокрасочными материалами повлечет для них существенные затраты [3]. Поэтому необходимо было выбрать дополнительный способ нанесения ЛКК, позволяющий формировать ЗДП со специфическими свойствами, например при проведении внутренних ремонтных работ.

Современное оборудование позволяет наносить высоковязкие составы методом распыления, может быть стационарным или мобильным и работать от сети 220 В. По принципу действия оборудование можно разделить на две основные группы:

- машины шнекового типа с компрессором;
- оборудование безвоздушного распыления.

В процессе работы шпатлевочной машины шнекового типа шпатлевка под действием давления попадает в сопло пистолета. Кроме этого, в это же сопло поступает сжатый воздух от компрессора. В результате используемый материал распыляется на обрабатываемую поверхность. Другими словами, оборудование для шпаклевки этого типа позволяет напылять определенный материал, который применяется в конкретном случае, на ту или иную строительную поверхность.

Если же использовать оборудование для шпатлевания безвоздушного нанесения, то опять же под действием давления, причем высокого, шпатлевка наносится на определенную поверхность. При этом сжатый воздух не участвует в процессе. Таким способом можно формировать толщину покрытия до 2 мм и устранять перепады по толщине до 3 мм, обеспечивая высокое качество поверхности. Аппарат для окраски ASpro-8000 Sheetrock обладает всеми техническими характеристиками и получил большое количество положительных отзывов при работе со строительными высоковязкими составами (в том числе с минеральными шпатлевками и фактурными штукатурками).

Необходимой операцией после нанесения лакокрасочных материалов на поверхность является их отверждение, т.е. превращение в твердое состояние [4]. ЛКМ на водной основе целесообразно отверждать естественным способом (при температуре окружающего воздуха  $t = 20 \pm 2$  °C и влажности воздуха  $W = 60 \pm 5\%$ ). Данный вид отверждения не связан с использованием специального оборудования и затратной энергии. Но он длителен, неприемлем при поточных способах и приводит к получению покрытий недостаточно высокого качества, требующих дальнейших операций по облагораживанию поверхности. Конвективный нагрев применим к любым жидким лакокрасочным материалам. Он позволяет существенно ускорить технологический процесс и улучшить качество покрытий, однако требует дополнительного оборудования и затраты энергии. Использование обоих способов отверждения предлагаемого ЗДП допустимо с учетом особенностей организации производства [5]. Структура технологического процесса формирования ЗДП представлена в табл. 1.

Таблица 1

Структура технологического процесса

№ п/п	Технологическая операция	Применяемое оборудование	
		ТП с атмосферной сушкой	ТП с конвективной сушкой
1	Удаление пыли	Щеточный станок ХС620	
2	Нанесение ЛКМ	Вальцовый станок JDM620 или аппарат ASpro-8000 Sheetrock	
3	Отверждение покрытия	Вытяжной зонт Стеллажи	Конвективная камера проходного типа Стеллажи
4	Технологическая выдержка	-	Вытяжной зонт
5	Шлифование	Шлифовальный станок Beaver, шлиф.машинка Makita	
6	Обеспыливание	(см.п.1)	
7	Контроль качества	Эталоны	

На рис. 4 представлена организация рабочих мест на участках отделки в цехах по производству стеновых рентгенозащитных панелей.

Анализируя два варианта технологического процесса отделки стеновых рентгенозащитных панелей, можно выявить следующие преимущества и недостатки каждой технологической цепочки.

Технологический поток на базе вальцовых станков с применением конвективной сушки имеет следующие достоинства:

- меньшая занимаемая площадь;
- сокращение объема транспортных операций в пределах участка;
- повышение эффективности использования головного оборудования за счет сокращения времени загрузки сушильной установки;
- более полная изоляция процесса сушки;
- высокая ритмичность процесса;



- более высокие показатели качества покрытия.

Недостатки:

- необходимость капитальных вложений;
- повышенный расход энергии.

Технологический процесс с использованием атмосферной сушки покрытия менее энергоемок, требуется меньше вложений на приобретение оборудования. Но производственные помещения должны иметь гораздо большие площади по сравнению с первым вариантом, т.к. существенно увеличивается продолжительность технологического процесса.

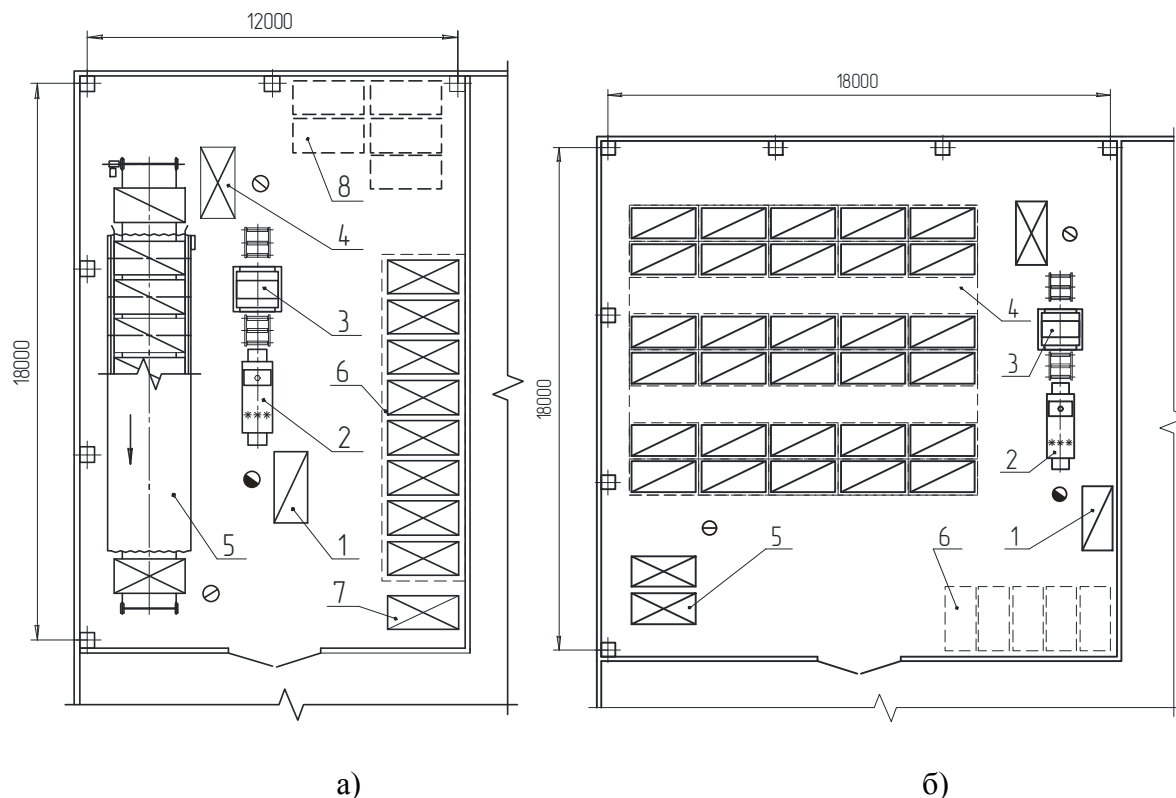


Рис. 4 а – схема участка отделки с конвективной сушкой: 1 – плотный пакет заготовок; 2 – щеточный станок; 3 – вальцовый станок; 4 – этажерка с заготовками; 5 – сушильная камера; 6 – подстопное место с вытяжным зонтом; 7 – плотный пакет готовых деталей для отгрузки; 8 – пустые этажерки; б – схема участка отделки с конвективной сушкой: 1 – плотный пакет заготовок; 2 – щеточный станок; 3 – вальцовый станок; 4 – подстопное место с вытяжным зонтом; 5 – плотный пакет готовых деталей для отгрузки; 6 – пустые этажерки

Применение аппаратов безвоздушного распыления дает возможность получения ЗДП со специфическими свойствами непосредственно «на месте» при проведении внутренних отделочных работ, т.е. технология становится мобильной, снижаются затраты на электроэнергию и транспортировку готовой продукции. Но такой способ нанесения подразумевает продолжительную естественную сушку покрытия, необходимость модификации состава для получения тиксотропности, проведение дальнейших операций по облагораживанию поверхности.

Выбор оптимального технологического решения и поиск компромиссных решений с учетом требований заказчика могут проводиться только в условиях конкретного предприятия с учетом его технических и экономических возможностей.

**Список литературы**

1. Яковлев А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий. Учебник для вузов. Л., "Химия", 1981. – 384 с.
  2. Шишкина С.Б., Ветошкин Ю.И., Анисимова Н.Ю.. Декоративные рентгенозащитные стеновые панели// Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: мат. III всерос. науч.-технич. конф. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. Ч.1.С. 110-111.
  3. Ветошкин, Ю.И. Конструкции и эксплуатационно-технологические особенности композиционных рентгенозащитных материалов на основе древесины: монография / Ю.И. Ветошкин, И.В. Яцун, О.Н. Чернышев. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. – 148 с.
  4. Шишкина С.Б., Семашко А.А., Ветошкин Ю.И.. Влияние конвективной сушки на свойства покрытия, защищающего от рентгеновского излучения // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: мат. V всерос. науч.-технич. конф. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. Ч.1.С. 167-169.
  5. Шишкина С.Б. Способ облагораживания поверхности композиционных плитных материалов для придания им рентгенозащитных свойств // В сборнике: Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века Труды VII международного евразийского симпозиума в рамках V Евро-Азиатского лесопромышленного форума. 2012. С. 185-187.
-

ПОДГОТОВКА КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КАДРОВ ДЛЯ ЦБП  
И ЛЕСОПЕРЕРАБОТКИ: ЭКОСИСТЕМА ПАРТНЕРСТВА.  
ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

---

УДК 37.047

ПРОЕКТ «БАЗОВАЯ КАФЕДРА УГЛТУ В АО «СОЛИКАМСКБУМПРОМ»

Куцубина Нелли Валерьевна,  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [Nelly3416@mail.ru](mailto:Nelly3416@mail.ru)

Васильев Вадим Владимирович,  
старший преподаватель  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [Vadim@yandex.ru](mailto:Vadim@yandex.ru)

Борисова Александра Владимировна,  
ведущий специалист по обучению и развитию персонала АО «Соликамскбумпром»,  
г. Соликамск, E-mail: [alexandra.borisova@solbum.ru](mailto:alexandra.borisova@solbum.ru)

*Ключевые слова:* взаимодействие вуза и предприятия ЦБП, подготовка инженерных кадров.

*Аннотация.* В докладе обсуждается опыт УГЛТУ и АО «Соликамскбумпром» по реализации совместного проекта, направленного на подготовку квалифицированных кадров для ЦБП.

THE PROJECT "BASIC USFEU DEPARTMENT IN JSC «SOLIKAMSKBUMPROM»

Kutsubina Nelli Valeryevna,  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [Nelly3416@mail.ru](mailto:Nelly3416@mail.ru)

Vasiliev Vadim Vladimirovich,  
senior lecturer of Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [Vadim@yandex.ru](mailto:Vadim@yandex.ru)

Borisova Alexandra Vladimirovna,  
leading specialist in personnel training and development of JSC «Solikamskbumprom»,  
Solikamsk, E-mail: [alexandra.borisova@solbum.ru](mailto:alexandra.borisova@solbum.ru)

*Key words:* the interaction of the University and the enterprises of pulp and paper, the preparation of the engineering staff.

*Abstract.* The report discusses the experience of UGLTU and JSC "Solikamskbumprom" on the implementation of a joint project aimed at training qualified personnel for the the pulp and paper industry.

Уральский государственный лесотехнический университет (УГЛТУ) является одним из основных вузов, осуществляющих подготовку инженерных кадров для АО «Соликамскбумпром». Высшее учебное заведение и Предприятие многие годы поддерживают тесные многосторонние творческие связи: совместная организация учебных и производственных практик для студентов УГЛТУ, проведение сотрудниками университета актуальных для

Предприятия научно-исследовательских работ в области совершенствования технической эксплуатации оборудования, курсов повышения квалификации для специалистов Предприятия [1].

Происходящие в последние годы эффективная модернизация производства, неуклонное увеличение мощностей по производству бумаги, заготовке древесины и объемам выработки электроэнергии превратило одно из передовых предприятий Пермского края - АО "Соликамскбумпром" - в передовой центр технических инноваций бумажной промышленности. Новое оборудование, новые технологии, новые методы эксплуатации машин и организации производства... Новые условия стали требовать и новых подходов в подготовке инженерных кадров для Предприятия, направленных, в первую очередь, на увеличение практического содержания подготовки будущих инженеров, развитие у них способностей быстро адаптироваться на производстве и приобретать новые компетенции.

Для достижения этих целей в 2015 году УГЛТУ был запущен инновационный научно-образовательный проект «Базовая кафедра УГЛТУ в АО «Соликамскбумпром», основной задачей которого явилась максимально эффективная организация всех видов учебной и учебно-методической деятельности УГЛТУ на базе Предприятия с применением различных форм сетевого взаимодействия и научно-исследовательской деятельности по направлениям, востребованным Предприятием.

Отметим следующие мероприятия Проекта: циклы практико-ориентированных занятий со студентами, организуемые на базе Предприятия; выполнение курсовых и выпускных квалификационных работ обучающихся университета по направлениям, востребованным Предприятием, организация и проведение практик студентов, выполнение НИР, организация профориентационных мероприятий со школьниками и др.

Целью циклов практико-ориентированных занятий является повышение качества подготовки студентов за счет усиления практической направленности обучения.

На рис. 1 и 2 приведены фрагменты программ практико-ориентированных занятий для студентов 3-го и 4-го курсов направления 15.03.02 – технологические машины и оборудование (профиль - Машины и оборудование лесного комплекса).

Наименование практико-ориентированного занятия	Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом	Индивидуальное задание (по конкретному оборудованию)
Тематические лекции-экскурсии по изучению оборудования основных производств Предприятия	Теория механизмов и машин	1. Определить класс машины, описать ее назначение и принцип работы. 2. Составить структурные схемы механизмов в составе машины и выполнить их структурный анализ. Предложить варианты заменяющих механизмов.
	Детали машин	1. Определить тип привода, описать принцип работы. 2. Составить конструктивную схему привода с указанием всех составляющих и способов их крепления.

Рис.1. Фрагмент программы практико-ориентированных занятий для студентов 3-го курса направления 15.03.02 – технологические машины и оборудование

Программа (рис.1) реализуется перед началом учебного года и предшествует изучению дисциплин, формирующих технический интеллект будущих выпускников (теория механизмов и машин, детали машин, механика жидкости и газа, виброзащита и акустическая динамика машин и др.). Кроме того, на примерах конкретного технологического оборудования ЦБП подчеркивается востребованность качественных знаний по общетехническим дисциплинам для будущей успешной профессиональной деятельности в отрасли. Появляется важ-

ная составляющая в подготовке квалифицированных инженерных кадров – ранняя адаптация получаемых в процессе обучения знаний к реальному производству.

Студенты 4-го курса в соответствии с программой (рис.2) под руководством преподавателей вуза и специалистов Предприятия проводят экспериментальные исследования по оценке технического состояния оборудования с целью выявления реальных задач, направленных на совершенствование технической эксплуатации и модернизацию оборудования Предприятия (рис.3-6).

Наименование практико-ориентированного занятия	Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом	Индивидуальное задание (по оборудованию, определенного для исследования в ВКР)
Круглый стол-семинар «Ремонтная база Предприятия»	Основы технологии машиностроения	1. Выявить виды ремонтных работ, применяемых для деталей и узлов оборудования. 2. Описать технологический процесс изготовления (ремонта) детали (узла) с указанием видов станочного оборудования и инструмента.
Круглый стол-семинар «Организация диагностики оборудования на Предприятии»	Контроль и диагностика в машиностроении	1. Выполнить измерения вибрации указанного оборудования. 2. Выполнить анализ полученных спектров вибрации с выявлением частотного состава и возможных источников вибрации.

Рис.2. Фрагмент программы практико-ориентированных занятий для студентов 4-го курса направления 15.03.02 – технологические машины и оборудование



Рис. 3. Проведение измерений параметров вибрации виброанализатором СД-12М на действующем оборудовании



Рис.4. Тематические лекции-экскурсии по основным производствам Предприятия



Рис.5. Консультирование студентов специалистами Предприятия



Рис.6. Защита индивидуальных заданий перед производственной комиссией

Решение поставленных задач осуществляется студентами в рамках выполнения курсовых проектов, НИР и будущих выпускных квалификационных работ (ВКР) в текущем учебном году. Так, выполненные студентами ВКР в 2017 году по темам Предприятия, были направлены на:

- совершенствование методов диагностики и разработку мероприятий по повышению точности шлифования валов на шлифовальном станке ХШ-5-06М;
- модернизацию основного технологического оборудования для подготовки бумажной массы: варочного котла КВСи-320, дисковых мельниц для размола щепы и термомеханической массы, рубительной машины ДПЦ -3, сортировок;
- модернизацию бумагоделательных машин: сушильной части БМ№6 с разработкой сукнонатяжки и крепирующего шабера, БМ№4 с разработкой синхронного привода секции сушильной части;
- разработку методов оценки технического состояния и технического обслуживания оборудования: анализа нагруженности, напряженного и вибрационного состояния валов секционной части БМ № 2 с возможностью определения минимально возможной толщины рубашки вала, повышения долговечности прессовых сукон третьего пресса БМ № 3, шлифования сушильных цилиндров на месте установки.

Лучшие решения подготовлены в виде рекомендаций для Предприятия.

По итогам научно-исследовательской деятельности, выполняемой по тематике Предприятия, студентами УГЛТУ подготовлено и доложено на конференциях различного уровня около 40 научных работ. С 2017 года к участию в Проекте подключились магистры.

Ежегодно более 30 студентов УГЛТУ трудоустраиваются на Предприятии на период прохождения производственных и преддипломных практик. Освоен опыт организации получения студентами за период практики квалификации слесаря 2-3 разряда.

Важнейшим этапом подготовки высококвалифицированных инженерных кадров для Предприятия является создание их профессионально ориентированного и творчески активного потенциала. Пропагандирование инженерно-технического образования, востребованного промышленностью региона, является основной задачей Проекта в области профориентационной работы со школьниками.

Среди профориентационных научно-образовательных мероприятий Проекта: выездные профориентационные марафоны, инженерные школы, углубленные курсы прикладного характера по физике, химии, информатике, интерактивные предметные олимпиады, конкурсы технического творчества, сопровождение школьной исследовательской деятельности по тематикам Предприятия (рис. 7).

Только за последний год школьниками под руководством преподавателей УГЛТУ и специалистов Предприятия выполнено около 10 исследовательских проектов технической и экологической направленности. Ежегодно в профориентационных мероприятиях Проекта принимает участие около 2 тысяч школьников и педагогов Соликамска и Соликамского района.





Рис.7. Проведение профориентационных мероприятий Проекта в школах г. Соликамска и Соликамского района

Реализация проекта «Базовая кафедра УГЛТУ в АО «Соликамскбумпром» – это достойный вклад в подготовку высококвалифицированных инженерных кадров, призванных обеспечить устойчивое инновационное развитие Предприятия.

## Список литературы

1. Подготовка кадров и эффективность производства: монографический сборник/Под ред. А.А. Санникова, Н.В. Куцубиной, Л.В. Фисюк. – Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2013. – 320 с.

---

УДК 338.45+ 37.047

## ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕРЕСА УЧАЩИХСЯ К РАБОТЕ В ОТРАСЛИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С УЧЕТОМ ИННОВАЦИОННОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Нелюбина Татьяна Александровна,  
канд. эконом. наук,

Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания»,  
г. Пермь, E-mail: [pcbк@pcbк.ru](mailto:pcbк@pcbк.ru)

Иванова Марина Владимировна,  
руководитель группы по взаимодействию с учебными заведениями,  
Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания»,  
г. Пермь, E-mail: [marina.ivanova@pcbк.perm.ru](mailto:marina.ivanova@pcbк.perm.ru)

*Ключевые слова:* инновационная восприимчивость, социально-экономические системы, целлюлозно-бумажная промышленность, кластер, параметры порядка, профессиональное самоопределение.



**Аннотация.** В данной статье рассмотрены вопросы формирования интереса учащихся к целлюлозно-бумажной отрасли. В результате анализа социально-экономических систем было выявлено, что популярность предприятий отрасли в качестве работодателя очень низка. На основе этого анализа Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания» создает систему с целью повысить популярность отрасли через ряд действий и мероприятий с учетом восприимчивости социально-экономических систем.

**THE FORMATION OF STUDENTS ' INTEREST IN WORKING IN THE  
PULP AND PAPER INDUSTRY TAKING INTO ACCOUNT  
THE INNOVATIVE RECEPTIVITY OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS**

**Nelyubina Tatyana Alexandrovna,  
Ph.D. of Economic Sciences,**

**Perm Pulp and Paper Company, Perm, E-mail: [pcbк@pcbк.ru](mailto:pcbк@pcbк.ru)**

**Ivanova Marina Vladimirovna,**

**head of the group on interaction with educational institutions**

**Perm Pulp and Paper Company, Perm, E-mail: [marina.ivanova@pcbк.perm.ru](mailto:marina.ivanova@pcbк.perm.ru)**

**Key words:** *innovative receptivity, social – economic system, pulp and paper branch, order parameters, professional self – determination.*

**Abstract.** *This article presents the problems of forming the interest of students to pulp and paper branch. As the result of analysis of social – economic systems were found that pulp and paper companies are not popular as employer. At the basis of this analysis Perm Pulp and Paper company are forming the system of work to increase the popularity of the branch through some actions and events taking into account receptivity social – economic system.*

Российский рынок упаковочных картонов, следуя мировым трендам популяризации экологической упаковки, будет расти в среднем на 3-4% в год. Рост усилился благодаря отмене налога на добавочную стоимость на макулатуру в 2017 году, повышению уровня переработки макулатуры, а также выделенным на государственном уровне предприятиям-переработчикам льготам. В ближайшие 5-15 лет целлюлозно-бумажной промышленности предстоит серьезное технологическое перевооружение.

На пути развития отрасль встречает следующие проблемы:

- крайний дефицит квалифицированных кадров;
- эффективность и конкурентоспособность предприятий целлюлозно-бумажной промышленности на рынке труда очень низка;
- в общественном сознании не сформировано новое представление о том, что такое рабочая профессия нового времени. Рабочие профессии не популярны. У учащихся нет понимания ценности рабочих профессий;
- согласно опросам, учащихся и студентов не привлекает карьера на производстве.

*Актуальность проблемы Группы предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания».* К 2019 году при сохранении текущих тенденций пенсионеры и сотрудники предпенсионного возраста составят в структуре персонала ГП ПЦБК более 30%. В это же время предприятие входит в проект «Сила картона», в результате реализации которого на предприятии будет установлено новое современное оборудование, производственные мощности вырастут на 30%. Для работы на новых машинах необходимо будет либо обучать существующий персонал, либо искать новые кадры во внешней среде.

С целью подготовки к новым вызовам был проанализирован предыдущий опыт предприятия. В 2005 году в Группе предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания» начался первый этап модернизации предприятия по увеличению мощностей, была установ-

лена картоноделательная машина «Б 2300», и предприятие столкнулось с вопросом привлечения новых кадров для обслуживания машины. Для работы были привлечены студенты Пермского Научно-исследовательского политехнического университета электротехнического факультета, которые остались работать на предприятии после получения дипломов специалистов. Привлечение студентов высших учебных заведений носило точечный подход, а в современных реалиях необходимо к вопросу кадрового резерва подходить системно.

При анализе стало понятно, что целевая аудитория (учащиеся) были мало информированы об отрасли, ее возможностях и перспективах роста. Прямое воздействие на целевую аудиторию (встречи, беседы, участие в приемной комиссии) не работали на цель вовлечь учащихся в отрасль. В связи с этим, компанией был предпринят ряд действий по формированию восприимчивости целевой аудитории к работе в отрасли, а также по формированию интереса к целлюлозно-бумажной промышленности в целом. Необходимо было не просто проводить действия по профессиональной ориентации, но и организовать восприимчивость целевой аудитории к новым для них возможностям. Для этой цели были использованы пять параметров порядка инновационной восприимчивости социально-экономической системы [1-3]:

1. **Уровень кластеризации связей.** Отражает структуру взаимных связей между компонентами системы с точки зрения тенденции их распределения: равномерной или кластерной.
2. **Уровень информациональности.** Отражает способность компонентов системы генерировать и использовать новую информацию на основе знаний.
3. **Уровень рефлексивности.** Отражает глубину рефлексивных образов у субъектов системы. Отражает представленность и степень взаимопроникновения субъектов системы в рефлексивные образы друг друга.
4. **Уровень разнообразия связей** между компонентами. Отражает количество взаимных связей между компонентами системы, их многообразие.
5. **Уровень согласованности ценностей.** Отражает наличие или отсутствие общего направления движения (вектора) у субъектов, наличие направляющей для их самоорганизации в виде перечня согласованных ценностей.

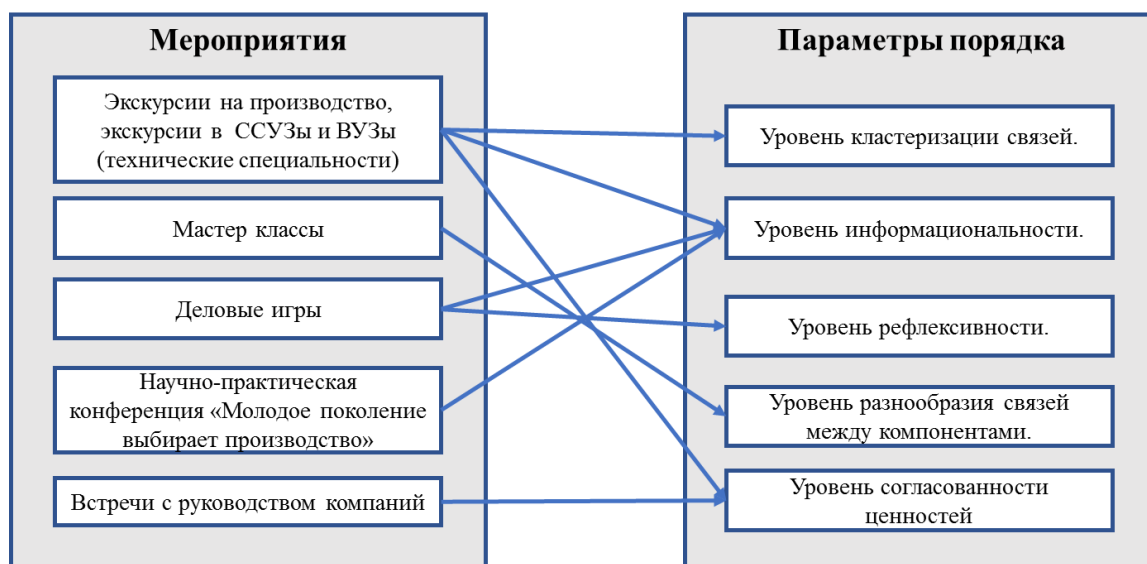


Рис. 1. Воздействие мероприятий на параметры порядка сообщества учащихся.  
Целевая аудитория - «Школьники»

Было выделено две целевые аудитории и в соответствии с их возрастными особенностями применялись следующие инструменты вовлечения в отрасль и воздействия на параметры порядка – рис.1 и 2.

Сообщество учащихся было рассмотрено как социально-экономическая система. Мероприятия по формированию интереса учащихся к работе в отрасли ЦБП выстраивались таким образом, чтобы воздействовать на восприимчивость этой системы к новым знаниям и возможностям. Воздействие организовывалось через параметры порядка инновационной восприимчивости социально-экономических систем.

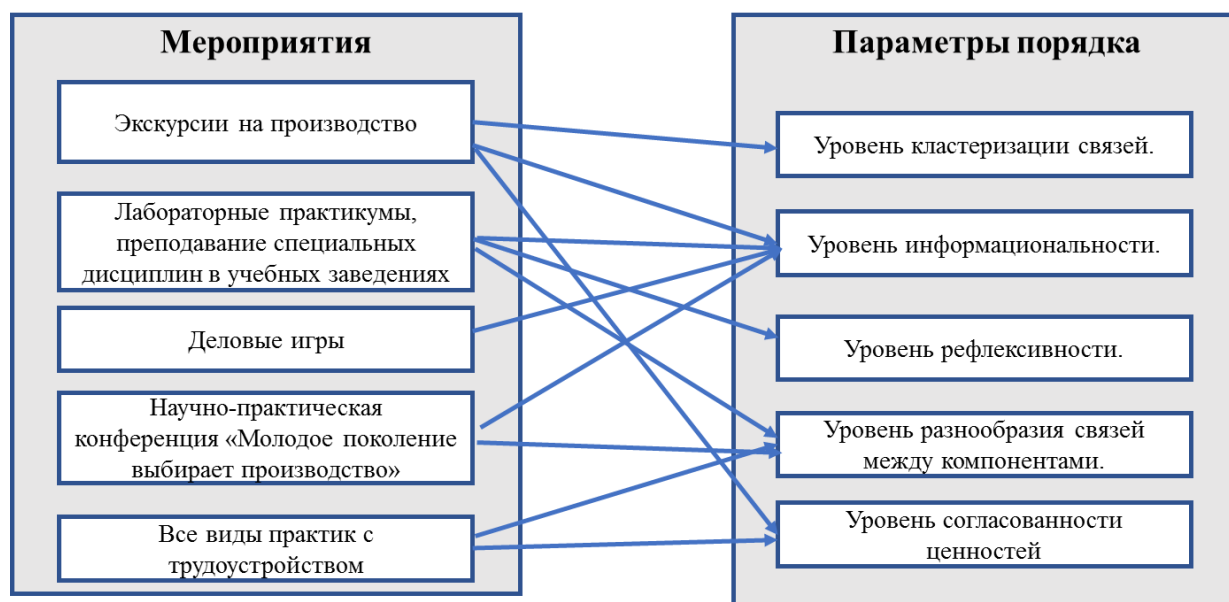


Рис.2. Воздействие мероприятий на параметры порядка сообщества учащихся.  
Целевая аудитория - «Студенты»

Информация по работе с учебными заведениями в течение двух лет была проанализирована и составлен прогноз на 2018 год по мероприятиям и количеству участников вовлеченных в процесс формирования интереса к отрасли (табл.1).

Таблица 1

Результаты работы с учебными заведениями 2016 – 2018 г.г.

Мероприятия	2016 год факт, человек	2017 год факт, человек	2018 год прогноз, человек
Экскурсии на предприятие	260	1367	2000
Мастер классы	154	270	350
Профессиональные пробы	157	269	400
Деловые игры, конференции	440	700	1000
Участие в учебном процессе	2	6	8
Производственные практики	35	52	70

В результате действий нацеленных на формирование восприимчивости целевой аудитории к работе в отрасли, а также по формированию интереса к отрасли целлюлозно-бумажной промышленности, можно сделать выводы, что ориентация предприятия на воздействие на параметры порядка предприятия была выбрана верно.

Благодаря действиям компании, во-первых, растет информированность целевых аудиторий об отрасли целлюлозно-бумажной промышленности, во-вторых, растет количество студентов средних специальных и высших учебных заведений, приходящих на практику на предприятие и остающихся на нем работать.

## Список литературы

1. Нелюбина Т.А., Романова О.А. Управление инновационной восприимчивостью социально-экономических систем.- Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2010.– 257 с.
2. Акофф Р., Дж. Магидсон, Г. Дж. Эддисон Идеализированное проектирование: Как предотвратить завтрашний кризис сегодня. Создание будущего организации. / Р. Акофф, Дж. Магидсон, Г. Дж. Эддисон; Пер. с англ. - Днепропетровск: Баланс Бизнес Букс, 2007. – 320 с.
3. Коллинз Д. От хорошего к великому. Почему одни компании совершают прорыв, а другие нет. / Пер. с англ. - СПб.: Стокгольмская школа экономики в Санкт-Петербурге, 2001. – 286 с.

---

УДК 37.047+ 676

## ИНЖЕНЕР ЛЕСА XXI ВЕКА: 3D - ИНЖЕНЕР ДЛЯ ЦБП

**Куцубина Нелли Валерьевна,**  
руководитель Проекта,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [Nelly3416@mail.ru](mailto:Nelly3416@mail.ru)

**Васильев Вадим Владимирович,**  
заведующий лабораторией САПР,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [Vadim@yandex.ru](mailto:Vadim@yandex.ru)

**Подковыркина Оксана Михайловна,**  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [pdks@mail.ru](mailto:pdks@mail.ru)

**Горбатенко Юлия Анатольевна,**  
канд. хим. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [gorbatenko538@yandex.ru](mailto:gorbatenko538@yandex.ru)

**Ключевые слова:** подготовка инженерных кадров для ЦБП, конструкторская подготовка, САПР.

**Аннотация.** В докладе обсуждается реализация УГЛТУ проекта по подготовке школьников к решению конструкторских задач в САПР.

**THE FOREST ENGINEER OF THE XXI CENTURY: 3D ENGINEER FOR  
THE PULP AND PAPER INDUSTRY**

**Kutsubina Nelli Valeryevna,**  
project manager, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [Nelly3416@mail.ru](mailto:Nelly3416@mail.ru)

**Vasiliev Vadim Vladimirovich,**  
head of CAD laboratory, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [Vadim@yandex.ru](mailto:Vadim@yandex.ru)

**Podkovyrkina Oksana Mikhailovna,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [pdks@mail.ru](mailto:pdks@mail.ru)

**Gorbatenko Julia Anatolevna,**  
Ph.D. of Chemical Sciences, Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [gorbatenko538@yandex.ru](mailto:gorbatenko538@yandex.ru)

**Key words:** *training of engineering personnel for the pulp & paper, engineering drafting, CAD.*

**Abstract.** *The report discusses the implementation of the project on the USFEU to prepare students to solve design problems in CAD.*

Основное технологическое оборудование ЦБП – бумагоделательные и картоноделательные машины (далее - БМ), работающие непрерывно, без резервирования. БМ состоят из большого количества различных деталей и узлов, многие из которых эксплуатируются длительное время, испытывая огромное число циклов нагружения [1].

Тенденция предприятий ЦБП к модернизации БМ с целью увеличения их рабочих скоростей требует проведения предварительного динамического и вибрационного анализа их конструкций. Возрастает актуальность своевременного выявления и прогнозирования технического состояния конструкций БМ, оценки соответствия требованиям прочности, надежности, виброустойчивости.

Как правило, сегодня решение подобных задач осуществляется инженером-конструктором с помощью САД технологий, то есть технологий компьютерного проектирования, предназначенных для решения конструкторских задач и оформления конструкторской документации с использованием виртуальных моделей, чертежей, текстовых документов и других, содержащих информацию для жизненного цикла деталей, узлов, изделий. Более привычно САД программы именуются системами автоматизированного проектирования (САПР): Компас 3D, PTC Creo (его более ранняя версия – Pro|ENGINEER) и др. [2]

На рис. 1,2 представлены возможности САПР на примере программы Pro|ENGINEER.

Профессиональная компетенция в области автоматизированного проектирования (САПР) включает умения и навыки трехмерного моделирования деталей и сборочных объектов, инженерного анализа конструкций, создания эскизов и чертежей, моделирования работы проектируемой системы и базируется на школьных знаниях черчения, информатики и физики. Поэтому формирование конструкторского мышления и профессиональной компетенции в области САПР целесообразно начинать со школы.

Проект УГЛТУ «Инженер леса XXI века», направленный на подготовку школьников для работы в САПР и получивший по результатам всероссийского конкурса грантовую поддержку некоммерческого партнерства содействия развитию интеллектуального и творческого потенциала молодежи «Лифт в будущее», стартовал в феврале 2018 года.





Рис.1. Последовательность разработки изделия в Pro|ENGINEER

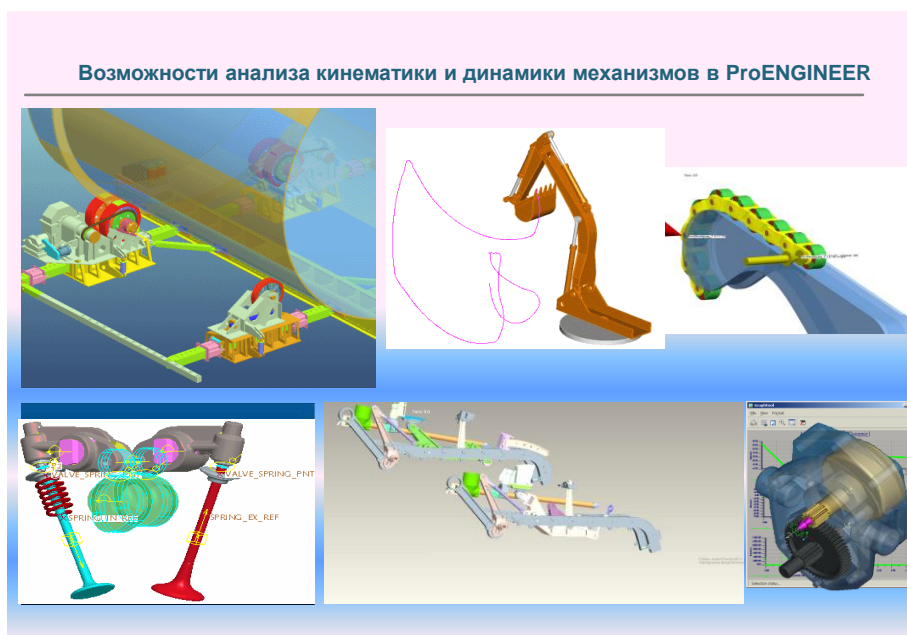


Рис.2. Примеры кинематического и динамического анализа механизмов в Pro|ENGINEER

Цель Проекта – формирование ориентированных на определенное предприятие кластера будущих инженеров, владеющих на высоком уровне методами 3D-моделирования, технического черчения, имеющих навыки работы в САПР и опыт решения реальных конструкторских задач, актуальных для производства.

Основные мероприятия Проекта – 3-4 дневные выездные школы по обучению школьников и педагогов работе в САПР, которые проводятся преподавателями УГЛТУ в учебных заведениях, расположенных на территориях заинтересованных предприятий-партнеров: АО «Соликамскбумпром», ГП ПЦБК, ЗАОр «Туринский ЦБЗ» и др. Постановку конструкторских задач разрабатывают и сопровождают эксперты предприятий.

Примеры задач, выполненных школьниками в рамках выездных школ, приведены на рис. 3 и 4.

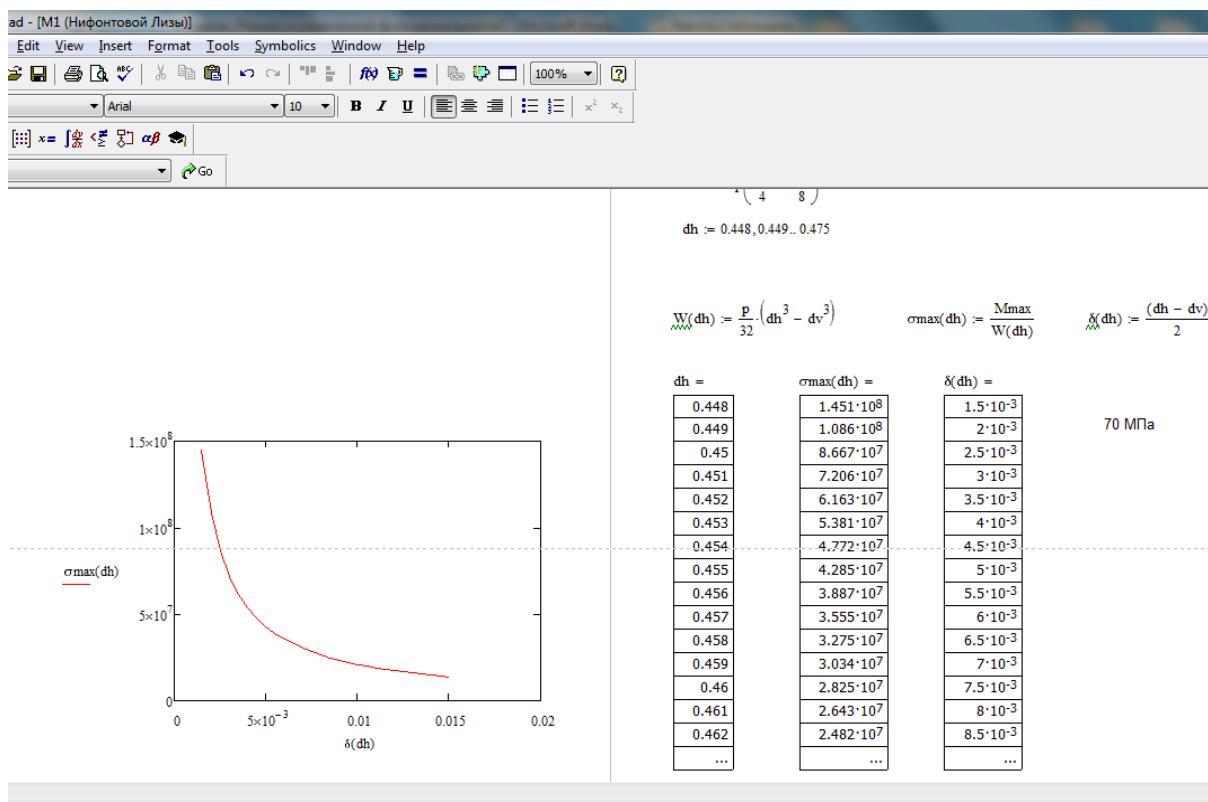


Рис.3. Инженерный расчет по определению минимально возможной толщины рубашки трубчатого вала БМ №3 АО «Соликамскбумпром», выполненный в системе автоматизации математических расчетов MathCad

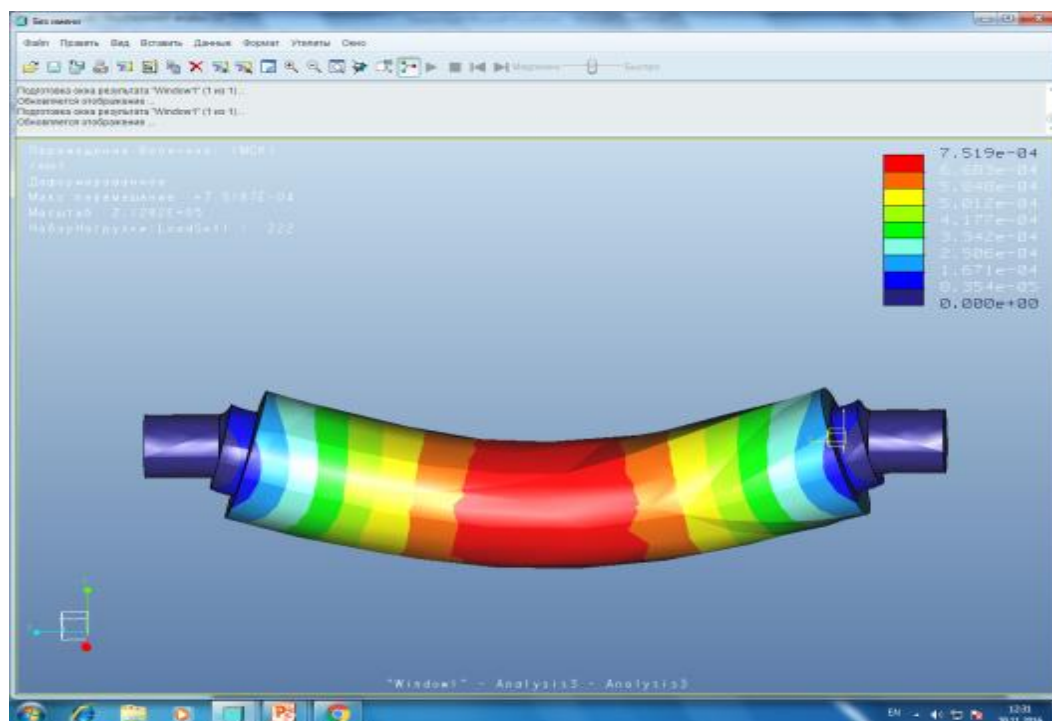


Рис.4. Трехмерная модель деформации трубчатого вала с толщиной рубашки, при которой напряжения в рубашке превышают допустимые значения (3D-моделирование выполнено в программе Pro/ENGINEER)



Итоги Проекта будут подведены в октябре 2018 года. В планах: участие слушателей выездных школ на конференциях и в конкурсах различного уровня, подготовка и издание электронного атласа лучших конструкторских работ участников Проекта, методических рекомендаций для педагогов по работе в САПР.

В качестве долгосрочного эффекта от реализации Проекта стоит ожидать: создание условий для организации «Школьных инженерно-конструкторских центров» и их эффективной системы взаимодействия с предприятиями-партнерами, а также формирование подготовленного и творчески активного потенциала будущих инженерных кадров для предприятий ЦБП.

## Список литературы

1. Теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Бумаго- и картоноделательные машины / И. Д. Кугушев [и др.] ; [под ред. Н. Н. Кокушина, В. С. Курова] ; С.-Петерб. гос. технолог. ун-т растительных полимеров. - Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического ун-та, 2006. - 588 с
2. Малюх В. Н. Введение в современные САПР: Курс лекций. — М.: ДМК Пресс, 2010. — 192 с.

---

УДК 37.047

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОФОРИЕНТАЦИОННОЙ РАБОТЫ МУНИЦИПАЛЬНОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЦЕНТР ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОФЕССИО- НАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ»

**Холоткова Наталья Александровна,**  
Директор Муниципального автономного образовательного учреждения дополнительного образования «Центр образования и профессиональной ориентации»,  
Артемовский городской округ, E-mail: [moy\\_myk23@mail.ru](mailto:moy_myk23@mail.ru)

**Ключевые слова:** профориентация, дополнительные общеобразовательные программы профессиональной подготовки, наставничество, конкурсы профессионального мастерства.

**Аннотация.** В статье представлены некоторые подходы к совершенствованию профессиональной ориентации в условиях дополнительного образования. Показана преемственность профессиональной деятельности от дошкольников до старшего школьного возраста. Описан комплекс мероприятий, направленных на профессиональное развитие студентов.

## IMPROVEMENT OF CAREER GUIDANCE MUNICIPAL AUTONOMOUS EDUCATIONAL INSTITUTION OF ADDITIONAL EDUCATION «CENTER FOR EDUCATION AND PROFESSIONAL ORIENTATION»

**Kholotkova Natalia Aleksandrovna,**  
Director Of municipal Autonomous educational institution of additional education  
«Center of education and professional orientation»,  
Artemovsky city district, E-mail: [moy\\_myk23@mail.ru](mailto:moy_myk23@mail.ru)

**Key words:** career guidance, additional General education training programs, mentoring, professional skills competitions.

**Abstract.** *The article presents some approaches to the improvement of professional orientation in terms of additional education. Shows the continuity of professional activities from pre-school to high school age. A set of measures aimed at the professional development of students is described.*

Одним из приоритетных направлений деятельности Муниципального автономного образовательного учреждения дополнительного образования «Центр образования и профессиональной ориентации» (МАОУ ДО «ЦОиПО») является профессиональная ориентация обучающихся. На сегодняшний день общее количество обучающихся из общеобразовательных учреждений Артёмовского городского округа составляет 1230 человек, это на 26% больше, чем в 2016 году.

Главные задачи профориентационной деятельности: сформировать положительное отношение к труду, научить разбираться в содержании профессиональной деятельности, соотносить требования, предъявляемые профессией, с индивидуальными качествами, анализировать свои возможности и способности. Для решения данных задач используются различные формы работы, которые определяются возрастными особенностями [1,2].

Работу по профессиональной ориентации мы начинаем с самой нижней ступени – с детского сада. С 2016 года реализуется образовательный проект для дошкольников «Я – будущий инженер», целью которого является развитие творческих и технических способностей детей.

Проект реализуется несколькими модулями: «Основы шахмат», «Первые конструкции и механизмы». Данный проект был представлен на Областном конкурсе инновационных проектов педагогических работников дополнительного образования Свердловской области и занял 2 место. В рамках ранней профориентационной деятельности также реализуются образовательные программы «Дошкольник и экономика», «Школа профессиональной ориентации «Знай-ка».

Большое место в профориентационной работе принадлежит школьникам младшего и среднего звена. Интересы младших подростков отличаются многообразием. И для этой возрастной категории представлен широкий спектр кружков, студий, лабораторий по следующим направленностям: технической, физкультурно-спортивной, естественнонаучной, социально-педагогической,

С 30 декабря 2016 года МАОУ ДО «ЦОиПО» по результатам конкурсного отбора является базовой площадкой ГАУДО СО «Дворец молодёжи» по профориентационной деятельности и техническому творчеству. Площадка открыта в рамках проекта «Уральская инженерная школа». Открытие базовой площадки позволяет повысить интерес у школьников к точным наукам, мотивировать на получение инженерных и рабочих специальностей. Став базовой площадкой, МАОУ ДО «ЦОиПО» получило уникальную возможность по оснащению инновационным высокотехнологичным оборудованием, такими как, 3D принтером, наборами конструкторов «Знаток», швейно-вышивальными машинами с компьютерным управлением, слесарным инструментом, токарным станком с числовым программным управлением, что повлекло за собой открытие новых направлений деятельности.

На «сегодняшний день» в МАОУ ДО «ЦОиПО» функционируют: лаборатория компьютерных технологий и робототехники, лаборатория электротехники; мастерская ландшафтного проектирования с учебно-опытным участком и теплицей, в которой обучающиеся выращивают овощные культуры, мастерская конструирования и изготовления изделий из ткани, мастерская технологии машинной вышивки, мастерская технологии кулинарного и кондитерского производства, мастерская обработки древесины, мастерская металлообработки, автомобильная мастерская, гончарная мастерская.

Уже второй год осуществляет свою работу студия «Центр юного машиностроителя». В данной студии обучающиеся занимаются программированием и прототипированием, работают в компьютерной программе «Компас», выполняют чертежи деталей машин и механиз-

мов в формате 3D. На 3D принтере печатают комплектующие детали и сборочные единицы. В 2017 году внедряется новая дополнительная общеобразовательная программа «Мехатроника».

В 2016 году в здании 2 МАОУ ДО «ЦОиПО» по адресу ул. М. Горького, 8 открылся автогородок с дорожной инфраструктурой – это сеть проезжих частей, тротуаров и площадок для вождения и техническими средствами организации дорожного движения (светофоры, дорожные знаки, дорожная разметка). Общая площадь автогородка составляет 1350 кв.м. Автогородок предназначен для проведения практических занятий по изучению Правил дорожного движения учащимися общеобразовательных школ, воспитанниками дошкольных образовательных учреждений, приобретения ими навыков безопасного поведения на улицах и дорогах, и безопасного управления транспортными средствами (электромобиль, велосипеды).

Профессиональная ориентация в старших классах ориентируется на стадию профессионального самоопределения. В связи с этим мы предоставляем возможность обучающимся 8-11 классов «погрузиться в профессию». В учреждении реализуются программы профессионального обучения школьников 8-11 классов по 9 направлениям:

«Слесарные и слесарно-сборочные работы: *слесарь по ремонту автомобилей* второго разряда»;

«Механическая обработка металлов и других материалов: *токарь* второго разряда»;

«Швейное производство: *швея* второго разряда»;

«Растениеводство: *садовник* второго разряда»;

«Строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы: *электромонтажник* по освещению и осветительным сетям второго разряда»;

«Хлебопекарно-макаронное производство: *пекарь* второго разряда»;

«Деревообрабатывающее производство: *столяр* второго разряда»;

«Торговля и общественное питание: *контролер-кассир* второго разряда»;

«Должности служащих: *вожатый*».

В период обучения подростки проходят производственную практику на предприятиях Артемовского городского округа. По окончании обучения при условии успешной сдачи квалификационного экзамена получают свидетельство о присвоении квалификации по выбранной профессии. В 2016-2017 году свидетельства получили 350 школьников в том числе дети с ОВЗ.

IT специальности занимают ведущее место в рейтинге самых престижных профессий, и поэтому эта сфера нуждалась и продолжает нуждаться в квалифицированных специалистах.

На сегодняшний день в МАОУ ДО «ЦОиПО» обеспечивается взаимосвязь учреждения дополнительного образования и работодателей в области IT-индустрии (компании ООО «МЕГА ГРУПП») через реализацию образовательной практики (проекта) «Из класса учебного в класс профессионалов», направленную на реализацию задач подготовки кадров.

Целью практики является выявление талантливых подростков в области IT технологий, сопровождение в течение обучения, обучение в высших учебных заведениях по IT специальностям и трудоустройство.

Наше образовательное учреждение является площадкой для освоения тонкостей компьютерного образования.

ООО «МЕГА ГРУПП» осуществляет практику наставничества. Это проявляется через приобретение и установку новейшего оборудования, сопровождение на протяжении всего образовательного процесса обучающихся с помощью он-лайн занятий, тренингов, конкурсных заданий.

Со своей стороны МАОУ ДО «ЦОиПО» разработаны дополнительные общеобразовательные программы: «Web программирование» и «Компьютерный дизайн». Обеспечен конкурсный отбор обучающихся.

Сетевая форма является взаимовыгодной формой сотрудничества для всех участников инновационной образовательной практики. Так как в результате обучающиеся получают более высокий уровень подготовки, а работодатели в будущем получают квалифицированных специалистов.

Данная практика исключает немотивированный выбор профессии, а следовательно, повышает желание работать по полученной специальности.

Особой организации требует работа с детьми и подростками состоящими на учете в ТКДН и ЗП, здесь работа ведется в режиме «сопровождения».

На базе учреждения организуются в каникулярный период профильные и профориентационные смены, работают трудовые отряды.

В этом году мы начали работу в новом направлении музейная педагогика. На базе учреждения открыт «Музей профессий», что тоже способствует профессиональной ориентации детей. Здесь можно познакомиться с рядом профессий района, увидеть награды за труд, спецодежду и сопутствующие инструменты.

Большое внимание мы уделяем работе с социальными партнерами.

МАОУ ДО «ЦОиПО» с 2014 года является инновационной площадкой ФГБОУ ВО «УГЛТУ» для реализации совместного с Уральским государственным лесотехническим университетом инновационного образовательного проекта «Инженерное творчество молодёжи» для детей и педагогов Артёмовского городского округа.

С 2016 года является участником социального партнёрства «Развитие системы непрерывного образования «Школа – ВУЗ» ФГБОУ ВПО «УрГЭУ». Уже на протяжении двух лет мы сотрудничаем с УрГПУ, а в этом году подписано соглашение о взаимодействии с Аграрным университетом.

Центр образования взаимодействует с учреждениями среднего профессионального образования.

В своей работе стараемся как можно больше сориентировать школьников именно на нужные предприятиям нашего города профессии. С этой целью проводятся экскурсии на предприятия и в учреждения. Эта форма работы является одной из самых эффективных форм практического ознакомления обучающихся с производством, техникой, технологиями и основами профессий. Школьники знакомятся с трудовыми традициями, ветеранами, передовиками производства.

Совместно с государственным учреждением «Артёмовский центр занятости населения» проводится профориентационное компьютерное тестирование. По результатам пройденных тестов специалист центра занятости делает подробные выводы о склонностях и способностях обучающихся, дает консультации, рекомендации, в каких направлениях обучения стоит попробовать свои силы и получать знания.

Ежегодно на базе Центра образования и профессиональной ориентации уже на протяжении 5 лет проводится «Ярмарка презентация профессии». В ней принимают участие работодатели, вузы и колледжи Свердловской области. Это уникальная возможность для старшеклассников получить информацию о том, где можно обучиться выбранной профессии и в дальнейшем куда пойти работать.

Огромное внимание в учреждении уделяется конкурсному движению.

На базе МАОУ ДО «ЦОиПО» ежегодно организуются и проводятся муниципальные и областные мероприятия, конкурсы, выставки, научно-познавательные марафоны, научные лектории, в которых ежегодно принимают участие около 1000 школьников. МАОУ ДО «ЦОиПО» является базовой площадкой для проведения муниципального этапа областного конкурса юных изобретателей и рационализаторов на территории Артёмовского городского округа в рамках областного Фестиваля «Юные интеллектуалы Среднего Урала». Участие в конкурсах детского технического творчества позволяет детям и молодежи проявить весь свой интеллектуальный запас знаний в области науки и техники, проявить свои способности в проектно- конструкторской деятельности, даёт возможность представить общественности

Артёмовского городского округа творческие достижения, обменяться опытом, обсудить перспективы совершенствования техники и технологий со своими сверстниками.

В МАОУ ДО «ЦОиПО» стало доброй традицией проводить муниципальный шахматный турнир, посвящённый памяти Советского чемпиона мира А.А. Алёхина, среди мальчиков и девочек до 13 лет; муниципальный шахматный турнир «Новое шахматное поколение»; муниципальный конкурс технического творчества «Технический фристайл»; муниципальная эстафета по лего - конструированию «ЛЕГО-БУМ», фестиваль «Билет в профессию».

Впервые в этом году на базе «ЦОиПО» проводился конкурс профессионального мастерства «АРТ-скиллс» по компетенциям «WorldSkills»: мобильная робототехника, технология моды, флористика и фитодизайн, кулинарное дело, ремонт и обслуживание легковых автомобилей, электромонтажник.

Ежегодно обучающиеся МАОУ ДО «ЦОиПО» принимают участие в областных конкурсах, проектах и фестивалях.

В сентябре в экологическом отделении Дворца молодёжи обучающиеся группы профессионального обучения по направлению: «Растениеводство: садовник второго разряда» приняли активное участие в конкурсе проектов ландшафтного дизайна «Умный сад, технологичный огород» по итогам 72-го областного конкурса «Юные исследователи природы». Итогом конкурса была детская сельскохозяйственная выставка «Агроинноватика», где наши обучающиеся достойно обошли около 300 участников со всей Свердловской области и стали победителями, завоевав призовое 1 место.

Обучающаяся Центра образования и профессиональной ориентации Мальцева Влада стала золотым призером Гастрономического фестиваля «ЕврАзия-Фест» в рамках III Областного молодежного конкурса по кулинарии и сервису организатор конкурса Министерство агропромышленного комплекса и продовольствия Свердловской области.

Обучающиеся групп профессиональной подготовки приняли участие в Международном конкурсе исследовательских работ и проектов школьников «Дебют в науке», проводимый в рамках VIII Евроазиатского экономического форума молодёжи на базе ФГБОУ ВПО «Уральского государственного экономического университета» (направление «Экономика» и заняли 3 место;

С 2 по 6 ноября обучающиеся студии «Лаборатория роботов» приняли участие в IV Национальном чемпионате сквозных рабочих профессий высокотехнологичных отраслей промышленности по методике WorldSkills – WorldSkillsHi-Tech 2017, Всероссийской выставке "От Винта", выставке «ТехноРегион» в «ЭКСПО - центре» г. Екатеринбург. Также 6 ноября педагоги МАОУ ДО «ЦОиПО» участвовали в проведении мастер-классов по машинной вышивке, графическому дизайну и робототехнике в рамках проведения ЭКСПО.

В июле 2017 года обучающийся Центра образования и профориентации Михаил Кротов был приглашен в числе восьми обучающихся отобранных из Свердловской области на образовательную смену JuniorSkills во Всероссийский центр «Смена» г.Анапа.

Традиционно в ноябре обучающиеся МАОУ ДО «ЦОиПО» приняли участие в областном образовательном проекте «Детская инженерная школа», организатором которого является ГАУДО СО «Дворец молодёжи» на базе ЗЦ «Таватуй» и уже получили приглашение на продолжение учебы в зимние каникулы. Данный проект поддерживает УРФУ, Фонд «Талант и Успех» и Всероссийский образовательный центр «Сириус» (г. Сочи).

В 2017 году 719 обучающихся «ЦОиПО» приняли участие в муниципальных, областных, региональных, всероссийских и международных конкурсах, акциях, фестивалях и форумах. Обучающиеся активно принимают участие в конкурсах профессионального мастерства. 74 конкурса областного уровня по кулинарному делу, растениеводству и ландшафтному дизайну, робототехнике. Это: JuniorSkills: «Мобильная робототехника 10+», «Кулинарное дело 14+»; Областная школа юных опытных – растениеводов; Областной Фестиваль детского технического творчества «TECHNOFEST»; Межрегиональный конкурс инженерных решений «Энергоэффективность в моем доме»; Конкурс инвестиционно привлекательных ис-

следовательских проектов в рамках проводимого мероприятия «OpenInnovationsStartupTour» Сколково; Конкурс среди школьников и студентов колледжей на лучший бизнес-проект «Молодежь Урала – инновационной экономике России»; Региональный этап Всероссийской робототехнической олимпиады -WRO-2017 и областных робототехнических соревнований.

Профориентационная работа невозможна без участия родителей. Для родителей организуются родительские собрания, индивидуальные беседы, помощь в организации профессиональных проб. Проводятся массовые мероприятия, традиционным стал конкурс «Я, моя семья и моя будущая профессия».

Итак, основные участники профориентационной работы: педагоги, родители и обучающиеся. У каждого из участников свои задачи, решение которых имеет для них первостепенное значение. Способность всех сторон к диалогу повышает эффективность совместной работы. Профориентация, в том или ином виде, помогает образовательному учреждению стать конкурентоспособным и более гибко реагировать на образовательные потребности.

Как говорится в пословице, «Труд человека кормит», потому что труд - основа всей жизни человека. Какова будет эта основа у человека, зависит от того, как мы - взрослые - сможем подготовить его к одному из самых главных решений его жизни - выбору профессии.

#### Список литературы

1. Закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ.
2. Указ Губернатора Свердловской области от 6 октября 2014 года N 453-УГ О комплексной программе "Уральская инженерная школа".

---

УДК 37.048.45

#### **УЧАСТИЕ МУНИЦИПАЛЬНОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «СРЕДНЯЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ШКОЛА № 2 ИМЕНИ Ж.И. АЛФЕРОВА» В РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ «УРАЛЬСКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА»**

**Медведева Елена Владимировна,**  
Директор Муниципального автономного образовательного учреждения  
«Средняя образовательная школа № 2 имени Ж.И. Алферова»,  
г. Туринск, E-mail: [school259@mail.ru](mailto:school259@mail.ru)

***Ключевые слова:** профориентация, уральская инженерная школа, формирование инженерного мышления.*

***Аннотация.** В статье представлены пути реализации программы «Уральская инженерная школа» в рамках средней школы при участии социальных партнеров.*

#### **PARTICIPATION OF THE MUNICIPAL AUTONOMOUS EDUCATIONAL INSTITUTION «SECONDARY SCHOOL № 2 NAMED AFTER Z. I. ALFEROV» IN THE PROGRAM «URAL ENGINEERING SCHOOL»**

**Medvedeva Elena Vladimirovna,**  
Director of municipal Autonomous educational institution  
"Secondary educational school № 2 named after Zh. I. Alferov",  
Turinsk, E-mail: [school259@mail.ru](mailto:school259@mail.ru)

***Key words:** career guidance, Ural engineering school, formation of engineering thinking.*

**Abstract.** *The article presents the ways to implement the program «Ural engineering school» in the framework of secondary school with the participation of social partners.*

Всё больше образовательных учреждений включаются в одну из приоритетных для региона программ «Уральскую инженерную школу». Согласно ей все дети должны иметь возможность для занятий техническим творчеством, изучения точных наук и естественно-научных дисциплин. Как это организовано в нашей школе – расскажем ниже.

Понятие «инженерная школа» имеет долгую историю. Инженерная школа как училище для образования военных инженеров была впервые основана в Дании в XVII веке. В XVIII веке подобные школы открылись также в Англии, Саксонии, Австрии, Франции и Пруссии. В России первая инженерная школа была основана Петром I в 1712 г на основе школы математических и навигационных наук. Последний выпуск состоялся 22 марта 1920 года.

22 июля 2014 года губернатор Свердловской области Е. Куйвашев представил Совету главных конструкторов Свердловской области на площадке «НПО автоматики им. академика Н.А. Семихатова» проект концепции комплексной программы «Уральская инженерная школа», и уже в конце 2014 года в Уральском регионе этот новый широкомасштабный проект был запущен в рамках её апробации [1]. С 2016 года программа реализуется в штатном режиме.

Ключевыми задачами в рамках комплексной программы «Уральская инженерная школа» являются формирование технического мышления, воспитания будущих инженерных кадров в системе общего и дополнительного образования, создание условий для исследовательской и проектной деятельности обучающихся, изучения ими естественных, физико-математических и технических наук, занятий научно-техническим творчеством.

Нами был разработан проект по формированию инженерного мышления детей и подростков нашей образовательной организации, сформулирована цель: обеспечение организационно-педагогических условий для формирования инженерного мышления, мотивации обучающихся и воспитанников к выбору будущей профессии, актуальной для экономики округа, региона, их самоопределение посредством реализации взаимодействия школы и социального партнерства с промышленными предприятиями и профессиональными учебными заведениями.

Для достижения поставленной цели нам необходимо было решать следующие задачи:

- формирование у обучающихся осознанного стремления к получению образования по инженерным специальностям и рабочим профессиям технического профиля;
- создание условий для получения обучающимися представлений по актуальным профессиям, инженерным специальностям нашего региона;
- внедрение новых практико-ориентированных технологий, форм и инструментов обучения по актуальным направлениям науки, техники.

С 2016 года школа является муниципальной инновационной площадкой по теме «Формирование социально-значимых ориентиров, профессионального самоопределения обучающихся через реализацию комплексной программы «Уральская инженерная школа» (приказ УО от 02.02.2016 № 27-П «Об организации инновационной деятельности образовательных организаций»

Содержание проекта реализуется в следующих основных направлениях:

- 1) формирование мотивации к техническому творчеству на уровне дошкольного и начального общего образования в процессе использования технологий Лего-конструирования;
- 2) формирование инженерного мышления в процессе обучения естественно-научным дисциплинам, информатике, математике и технологии;
- 3) формирование инженерного мышления средствами внеурочной деятельности и дополнительного образования (во взаимодействии с социальными партнерами проекта - предприятиями, образовательными организациями ВПО, СПО и учреждениями дополнительного образования).



Инновационный потенциал разработанного проекта определяется следующими планируемыми результатами:

созданием единой с работодателями и учреждениями ВПО, СПО, участниками программы, модели деятельности по повышению качественного уровня образовательных услуг;

переориентации структуры подготовки рабочих и инженерных кадров на обслуживание запросов региональной экономики в рамках профориентационной работы;

введением в образовательную практику общего образования новых усовершенствованных образовательных программ, предусматривающих внедрение интегрированных и сетевых форм организации образовательного процесса на всех уровнях образования (начиная с дошкольного);

Поставленные задачи были обеспечены за счет реализации следующих мероприятий:

*1) развитие у детей интереса к техническому образованию, инженерным дисциплинам, математике и предметам естественно-научного цикла, ориентации в мире профессий:*

Именно максимально раннее профориентирование, позволяющее выявлять индивидуальные склонности и таланты ребенка, проводится в дошкольном отделе. Для организации занятий были приобретены наборы «Лего», конструкторы, модули, где, помимо строительных элементов, присутствуют лего-жители – представители различных профессий. Воспитанники работают с двумя видами конструкторов – пластиковыми и металлическими. У нас есть талантливые ребята, которые, оперируя металлическим конструктором, способны создать «движимое из недвижимого». Это только начальный уровень. Считаем, чтобы ребенок начал работать с этим направлением, начать ему все же нужно с простого – с лего.

Сейчас мы уже планируем приобрести конструкторы посложнее для ребят начальной школы.. И вот тогда, собственно, переходим уже к робототехнике – созданию сложных моделей с программным управлением. С 2017-2018 учебного года введен курс внеурочной деятельности «Лего-конструирование» в 1-х классах. Считаем, что совсем скоро ребята смогут создавать и роботов, и космические корабли...

Шахматы – еще один инструмент для развития логики, мышления, а значит, и формирования интереса к точным наукам и предметам естественнонаучного цикла. Данный курс ведется в рамках внеурочной деятельности в 1-х классах и через доп. образование для обучающихся 3-10 классов.

*2) Создание условий для качественного овладения обучающимися знаниями по математике и предметам естественнонаучного цикла:*

В рамках областной программы по оснащению кабинетов естественнонаучного цикла и профориентации выделены субсидии из местного и областного бюджетов в размере 4 миллиона 650 тысяч рублей. Приобретено новое оборудование для кабинетов физики и химии: физические и химические лаборатории «Эйнштейн», лабораторные наборы TESS по «Механика», «Термодинамика», «Оптика», «Органическая и неорганическая химия», интерактивное оборудование.

Осваивая лаборатории можно осуществить дифференцированный подход и развить у учащихся интерес к самостоятельной исследовательской деятельности. Эксперименты, проводимые с помощью цифровой лаборатории «Эйнштейн» более наглядны и эффективны, это дает возможность лучше понять и запомнить тему. С цифровыми лабораториями можно проводить работы, как входящие в школьную программу, так и совершенно новые исследования.

Цифровые лаборатории обладают целым рядом преимуществ: при проведении лабораторных экспериментов: позволяют получать данные, недоступные в традиционных учебных экспериментах, дают возможность производить удобную обработку результатов эксперимента возможность сравнения результатов измерения традиционными способами.

На сегодня учитель физики уже использует эти преимущества как на уроках, так и во внеурочное время

Кроме того, для кабинета Технологии и учебных мастерских приобретены модульные станки-конструкторы по дереву и металлу УНИМАТ, программное обеспечение для конструирования и моделирования одежды и вышивания.

С целью предоставления дополнительных образовательных услуг и открытия объединений технической направленности приобретен комплекс для 3D-моделирования и лабораторное оборудование «Электромонтаж и наладка системы «Умный дом». С марта 2018 г. в рамках дополнительного образования ведется кружок «Моделист-конструктор» для обучающихся 4-х и 7-х классов.

3) *Профориентационная работа, ранняя профилизация, дополнительное образование по экономической географии региона и его ресурсах, патриотическое и гражданское воспитание стали более реальны благодаря реализации образовательной программы «Единая промышленная карта Урала».* За последние два года экскурсии на промышленные предприятия г. Туринска, Ирбита, Екатеринбурга, Режа посетили учащиеся с 4 по 11 классы. Возможность познакомиться с разными трудовыми сферами, пообщаться с людьми разных профессий – для детей это бесценный опыт и возможность более точно определиться с будущей профессией, что способствует, на наш взгляд, высокой мотивации к учебной деятельности и успешной социализации. Кроме того, в учебный план включены предметы по выбору «Профессиональная карьера» и «Черчение» в 8-х классах, предмет «Предпрофильная подготовка» в 9-х классах и элективные курсы по предметам математики и естественно-научных дисциплин (физика, химия, биология) в 9-11 классах. В рамках воспитательной программы «Профориентация обучающихся» разработаны виртуальные экскурсии на предприятия, проводятся Всероссийские открытые уроки с использованием Интернет-ресурса «ПроеКТОриЯ». Старшеклассники принимают участие в «тест-драйвах» для абитуриентов в Дни открытых дверей профессиональных учебных заведений.

4) *Формированию у учащихся навыков практической деятельности, необходимой для ведения исследовательских, лабораторных и конструкторских работ уделяется особое внимание.* Ежегодно обучающиеся представляют свои работы на школьной и муниципальной научно-практической конференции, традиционной конференции «Инженер леса 21 века» на базе УГЛТУ, на конференции «Дебют в науке» при УрГЭУ.

Обучающиеся школы –участники творческих конкурсов технической направленности «Технический прибор своими руками»

5) *С целью формирования творчески активного и профессионально ориентированного потенциала будущих инженерных кадров необходимо установление взаимодействия между школой, промышленными предприятиями и профессиональным учебным заведением.*

Такой шаг нами сделан:

- с 2015 года реализуется трехсторонний план основных мероприятий инновационного проекта «Инженер леса», участниками которого являемся мы, УГЛТУ и ЗАОр «Туринский ЦБЗ».

- Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение средняя общеобразовательная школа № 2 имени Ж.И. Алфёрова расположена в микрорайоне градообразующего предприятия - Целлюлозно-бумажный завод. 30 % рабочих завода - это родители учащихся нашей школы. 32% инженерно-технического персонала и 14 % рабочих –это выпускники нашей школы. И школа, как никто другой, заинтересована в профессиональной ориентации учащихся, подготовке технических кадров для завода, тесном сотрудничестве с ЗАОр «Туринский ЦБЗ». Специалисты предприятия участники семинаров, встреч, конференций, проводимых на базе образовательного учреждения.

В рамках областной целевой программы по оснащению кабинетов естественно-научного цикла и профориентации в 2017 году заключено соглашение о сотрудничестве с ЗАОр «Туринский ЦБЗ» и школы в целях улучшения условий реализации образовательных программ естественно-научного цикла и профессиональной работы. На сегодня в связи с тем, что не предоставляется возможным посетить предприятие всеми учащимися подготов-

лена виртуальная экскурсия по ЦБЗ. Имеется ряд методических материалов, представляющих продукцию целлюлозно-бумажного завода, кадровый потенциал предприятия.

- в рамках профориентационной работы ведется работа с Туринским многопрофильным техникумом

6) *Сейчас мы тесно сотрудничаем с интерактивной образовательной онлайн-платформой «Учи.ру» для школьников, учителей и родителей.* «Учи.ру» помогает учителю проводить тестирование знаний учащихся, задавать домашние задания в электронном виде. Для ученика это – бесконечный тренажёр по школьной программе. Сначала учащиеся готовятся к уроку, выполняя домашние задания, а затем самостоятельно могут решить свои тесты, а потом уже тесты, предложенные системой. Это позволяет отлично подготовить учеников по математике и другим предметам. Считаем, это также можно назвать предпрофильным обучением, это ориентирует обучающихся на выбор дальнейшей профессии.

Ведется ежегодный мониторинг сомоопределения и социализации наших выпускников. Так за последние три года в учебных заведениях технической направленности обучается 43% выпускников средней школы и 37% выпускников основной школы. (в УГЛТУ 4 выпускника)

Далее рассмотрим проблемы, возникшие при реализации задач, поставленных перед нами.

1. Главной проблемой в задаче «Непрерывного технического образования» видится отсутствие разработанной методики сквозного преподавания на всех образовательных уровнях в рамках инженерной школы с учетом «лучшего отечественного и зарубежного опыта». Учителя и преподаватели в рамках выполнения данной задачи должны быть сами заинтересованы и четко следовать поставленным задачам, следуя определённым алгоритмом действий. В ином случае сформированные учителем в школе у учеников умения и навыки в рамках его представления об инженерной школе могут не совпасть с ожиданиями преподавателей ВУЗов и, соответственно, не смогут отвечать потребностям промышленных предприятий региона.

2. Задача «Создание и развитие материально-технической базы» подразумевает дальнейший мониторинг оснащённости ОУ с последующим финансированием, подготовку педагогических кадров, готовых работать на современном оборудовании. Необходимо регулярно повышать уровень профессионализма, делиться опытом практической деятельности по развитию инженерного мышления обучающихся, направлениями движения по внедрению современных научно-технических новшеств в образовательный процесс. Приобретение оборудования не «спонтанно», а изучив мониторинг и технические характеристики требуемого оборудования для образовательных учреждений.

3. Основной проблемой по реализации задачи «Формирования привлекательного имиджа инженерной профессии» является ограниченность сетевого взаимодействия образовательной организации с предприятиями Туринского городского округа, а также отсутствием возможности в полной мере использовать ресурсы образовательной программы «Единая промышленная карта Урала» (все экскурсии данной программы организуются на платной основе и отдалены от г. Турина).

На наш взгляд, проект «Уральская инженерная школа» будет успешно претворен в жизнь только при условии комплексного подхода к реализации поставленных задач всеми сторонами, задействованными в проекте: властями, педагогическим сообществом, родительской и ученической общественностью. В первую очередь необходимо полномасштабное централизованное методическое, техническое, программное и информационное сопровождение процесса реализации проекта.

И тогда в недалеком будущем растущие потребности Уральского региона, как в инженерно-техническом персонале, так и в высококвалифицированных рабочих кадрах будут удовлетворены.

Список литературы

1. Указ Губернатора Свердловской области от 6 октября 2014 года N 453-УГ О комплексной программе "Уральская инженерная школа".

---

УДК 37.048.45

**ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ  
СОЛИКАМСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОЛЛЕДЖА  
В ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ САМООПРЕДЕЛЕНИИ ШКОЛЬНИКОВ**

**Новикова Наталья Васильевна,  
преподаватель ГБПОУ «Соликамский технологический колледж»,  
г. Соликамск, E-mail: [nov1801nata@mail.ru](mailto:nov1801nata@mail.ru)**

***Ключевые слова:** профориентация, профессиональное становление, мотивация школьников, осознанность выбора профессии.*

***Аннотация.** В статье представлена система профориентационной работы со школьниками. Показано активное включение всех заинтересованных сторон, в том числе работодателей, в формирование мотивации школьников к осознанному выбору специальностей, реализуемых в колледже.*

**FROM EXPERIENCE SOLIKAMSK TECHNOLOGY COLLEGE  
IN PROFESSIONAL SELF-DETERMINATION OF SCHOOLCHILDREN**

**Novikova Natalya Vasilievna,  
teacher of «Solikamsk technological College»,  
Solikamsk, E-mail: [nov1801nata@mail.ru](mailto:nov1801nata@mail.ru)**

***Key words:** career guidance, professional development, motivation of students, awareness of the choice of profession.*

***Abstract.** The article presents the system of career guidance work with students. The active involvement of all stakeholders, including employers, in the formation of motivation of students to the conscious choice of specialties implemented in the College is shown.*

Вопрос о выборе и овладении профессией является одним из важных в жизни каждого человека, в его профессиональном становлении.

Для правильного профессионального самоопределения школьника желательно использовать формулу выбора профессии [2], которая отражает три следующих фактора:

- ЧТО Я ХОЧУ – включает в себя профессиональную направленность, интересы, склонности подростка, его желания;
- ЧТО Я МОГУ – определяет состояние здоровья, личностные особенности школьника, материальное состояние семьи;
- ЧТО НАДО – отражает специфику регионального рынка труда, спрос и возможность построения профессиональной карьеры.

В течение последних лет наблюдается снижение мотивации к осознанному выбору специальностей, востребованных на рынке труда города; противоречие между интересами абитуриентов и запросами работодателей.

В связи с этим разработка и реализация системы профориентационной работы является актуальной как для образовательного учреждения, так и для работодателей.

В Соликамском технологическом колледже сложилась система профессиональной ориентации, позволяющая формировать у подрастающего поколения профессиональные интересы и склонности в соответствии с личными способностями и потребностью общества.

Профориентационная работа проводится по трем направлениям: мероприятия на базе колледжа, выездные мероприятия, работа со СМИ. В реализации всех направлений принимает активное участие основной социальный партнер – АО «Соликамскбумпром».

Традиционным мероприятием на базе колледжа является День открытых дверей, программа которого включает презентацию специальностей ведущими преподавателями, экскурсии в мастерские и лаборатории колледжа, демонстрацию видеороликов об интересной жизни студентов, выступление студенческой агитбригады, конкурсы и викторины с участием работодателей.

Уже три года неизменным мероприятием стали профессиональные пробы, реализуемые в рамках Межведомственной программы профессиональной ориентации обучающихся и студентов на приоритетные направления рынка труда города Соликамска на период до 2020 года [1].

Участие в профессиональных пробах позволяет выпускникам познакомиться с содержанием профессии, умениями и навыками будущего специалиста, психологическими качествами, обеспечивающими успех в работе, и возможность получить первичный практический опыт. В профессиональных пробах в 2017 году приняли участие 875 школьников.

Сотрудники ЦЗН города информируют школьников о состоянии рынка труда, востребованных специальностях и профессиях будущего.

Наиболее масштабным мероприятием программы для выпускников школ города является Образовательный квест «Я б в рабочие пошел!», проводимый по инициативе АО «Соликамскбумпром», в ходе которого школьники знакомятся с востребованными на предприятии профессиями. В рамках квеста на базе нашего колледжа проводятся профессиональные пробы по трем профессиям: «Машинист бумагоделательной машины», «Слесарь-ремонтник» и «Электромонтер».

Ярким примером профориентации и личностного развития школьников является участие в I Межрегиональном Форуме «Траектория успеха».

Проведение профориентационной игры «В мире востребованных профессий» в условиях реализации проекта «Подготовка специалистов среднего звена на основе концепции дуального обучения на базе ГБПОУ «Соликамский технологический колледж» и АО «Соликамскбумпром». Цель игры – привлечение внимания абитуриентов к профессиям, востребованным на предприятии. В игре принимают участие девятиклассники школ города Соликамска, Александровска, Чердыни и Красновишерска.

В ходе игры школьники увлеченно собирают виртуальную электрическую цепь и выбирают предохранители, на основании видового состава и биомассы бентоса определяют участок сброса сточных вод, подбирают манометр для контроля давления пара, выполняют элементы проектного расчета теплообменников. Игровые задания подобраны таким образом, чтобы показать участникам игры важность знаний и умений, получаемых при изучении школьных предметов для успешной профессиональной деятельности. На последнем этапе игры ребята отвечают на вопросы викторины «Что вы знаете о АО «Соликамскбумпром»», подготовленной представителями предприятия.

Активно используется время школьных каникул. В течение двух лет в загородном оздоровительно-образовательном центре «Лесная сказка» при содействии кадровой службы АО «Соликамскбумпром» реализуется проект «Школа бумажника». В один из дней участники проекта – ученики 7-8 классов школ Соликамска и Березников – становятся гостями колледжа, где принимают участие в профориентационной игре «Я бы в СТК пошел – там меня научат!».

В рамках договора о сетевом взаимодействии с ООШ №13 города Соликамска реализуется образовательная область «Технология» для учеников 5-8 классов. Школьники получают

первичные профессиональные навыки по различным направлениям деятельности: компьютерная графика, техническое обслуживание персональных компьютеров, бухгалтерский учет, электромонтажные работы, столярное и слесарное дело, торговля. Такое взаимодействие колледжа и школы может стать основой для профессионального самоопределения будущих абитуриентов.

Серьезным направлением профориентационной работы является участие школьников в научно-практической конференции «Профессиональное становление: мои первые шаги», где школьники и студенты первого курса представляют результаты проектной деятельности. Для участников конференции проводится мастерская психолога «Жизненные ориентиры подростка», в которой уделяется внимание вопросам профессионального самоопределения.

В плане выездных мероприятий – выступления на классных часах и родительских собраниях в школах Соликамска, Чердыни, Красновишерска и Ныроба. Большое внимание уделяется рекомендациям, позволяющим решать такие проблемы, как:

- искаженное представление о будущей профессии (незнание требований к человеку, превратное представление об условиях работы, оплате труда и т.д.);
- предрассудки чести – некоторые важные для общества профессии, почему-то считают занятием недостойным;
- устарелые представления о характере труда в сфере материального производства;
- выбор профессии под прямым или косвенным влиянием товарищей.

Презентация специальностей колледжа в ежегодных ярмарках учебных мест «Образование и карьера», организуемых ЦЗН городов Соликамск, Березники и Александровск.

Участие в ежегодной всероссийской акции «Неделя без турникетов», являющейся базовым мероприятием федеральной программы «Работай в России!». Акция информирует о деятельности ведущих предприятий города, Пермского края и России, об актуальных и перспективных профессиях и специальностях на промышленном производстве.

Важным способом информирования потенциальных абитуриентов и их родителей о колледже являются средства массовой информации:

- трансляция по городскому телеканалу «Соль ТВ» видеороликов о специальностях, востребованных на предприятиях города;
- публикации в газетах «Наш Соликамск», «Бумажник», «Соликамский рабочий», «Городок», «Мой город Соликамск» статей о достижениях студенческого и педагогического коллективов и рекламных объявлений;
- размещение информации на сайте колледжа, на сайте Министерства образования и науки и в социальных сетях о значимых мероприятиях и событиях колледжа.

С целью планирования работы на новый учебный год и оценки эффективности различных профориентационных мероприятий проводится анкетирование студентов-первокурсников. В качестве мотивов выбора специальности называют: интерес к профессии (38%), возможность трудоустройства (59%), возможность получения высшего образования после окончания колледжа (25%).

Таким образом, сложившаяся система профессиональной ориентации, реализуемая в Соликамском технологическом колледже, позволяет объединить усилия всех заинтересованных сторон, в том числе работодателей, развивать у школьников мотивацию к осознанному выбору специальностей, востребованных на рынке труда города и региона.

### Список литературы

1. Чепурин А.В. Программно-методическое обеспечение профориентационной работы в школе в условиях сетевого взаимодействия с образовательными организациями и работодателями. Сборник методических материалов/ под общ. ред. доцента Г.А. Лебедевой. – Соликамск: ООО «Типограф», 2017. – 143 с.

2. <http://www.psycentru.info>.

УДК 331.5.024.54+332.05

**РАЗВИТИЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА – УСЛОВИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА**

**Капустина Юлия Александровна,**  
канд. эконом. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [kapustina\\_bu@mail.ru](mailto:kapustina_bu@mail.ru)

**Ростовская Юлия Николаевна,**  
канд. эконом. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [ros090lo@mail.ru](mailto:ros090lo@mail.ru)

**Долженко Лидия Михайловна,**  
доцент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [dolzhenkolm@mail.ru](mailto:dolzhenkolm@mail.ru)

**Стариков Евгений Николаевич,**  
канд. эконом. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [starik1705@yandex.ru](mailto:starik1705@yandex.ru)

***Ключевые слова:** кадровый потенциал, экономическая безопасность, производительность труда, лесной комплекс.*

***Аннотация.** Проведен анализ развития и использования кадрового потенциала лесопромышленного комплекса Республики Башкортостан, рассмотрено влияние кадрового потенциала на обеспечение экономической безопасности региона.*

**DEVELOPMENT OF PERSONNEL POTENTIAL - CONDITIONS FOR ENSURING  
ECONOMIC SECURITY IN THE REGION**

**Kapustina Yulia Aleksandrovna,**  
Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [kapustina\\_bu@mail.ru](mailto:kapustina_bu@mail.ru)

**Rostovskaya Yulia Nikolaevna,**  
Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [ros090lo@mail.ru](mailto:ros090lo@mail.ru)

**Dolzhenko Lidiia Mikhailovna,**  
Associate Professor,  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [dolzhenkolm@mail.ru](mailto:dolzhenkolm@mail.ru)

**Starikov Evgeny Nikolaevich,**  
Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor  
Ural State Forest Engineering University, Ural state University of Economics,  
Yekaterinburg, E-mail: [starik1705@yandex.ru](mailto:starik1705@yandex.ru)

***Key words:** personnel potential, economic security, labor productivity, forest complex.*

***Abstract.** The analysis of development and use of personnel potential of a timber industry complex of the Republic of Bashkortostan is carried out, influence of personnel potential on ensuring economic safety of the region is considered.*



В современных условиях нарастания геополитической нестабильности, высокой неопределенности экономической среды и обострения глобальной конкуренции, усиливаются существующие и появляются новые вызовы и угрозы экономической безопасности Российской Федерации.

К основным вызовам и угрозам экономическому суверенитету и обеспечению социально-экономической стабильности страны на фоне нарастающих демографических ограничений, в частности, относятся дефицит трудовых ресурсов в ряде отраслей, недостаточный уровень квалификации и ключевых компетенций отечественных специалистов, что обуславливает стагнацию в росте производительности труда, несоответствие навыков работников выполняемым задачам, влечет отставание в области разработки и внедрения новых и перспективных технологий, обуславливает слабую инновационную активность [1, 4].

В отраслях лесного комплекса вопросы формирования и эффективного использования кадрового потенциала стоят достаточно остро. Анализ кадрового обеспечения лесопромышленного комплекса Республики Башкортостан [5] показал, что его масштабы и темпы развития не в полной мере соответствуют современным стратегическим задачам обеспечения экономической безопасности региона и страны в целом, требуют соответствующего опережающего роста подготовки кадрового ресурса.

Среднесписочная численность работников предприятий лесного комплекса Республики Башкортостан в 2016 году уменьшилась по сравнению с 2015 годом на 6,0%, в том числе по видам деятельности: лесоводство и лесозаготовки - на 5,9%; обработка древесины и производство изделий из дерева - на 5,7%; целлюлозно-бумажное производство, издательская и полиграфическая деятельность - на 6,5% (рис. 1).

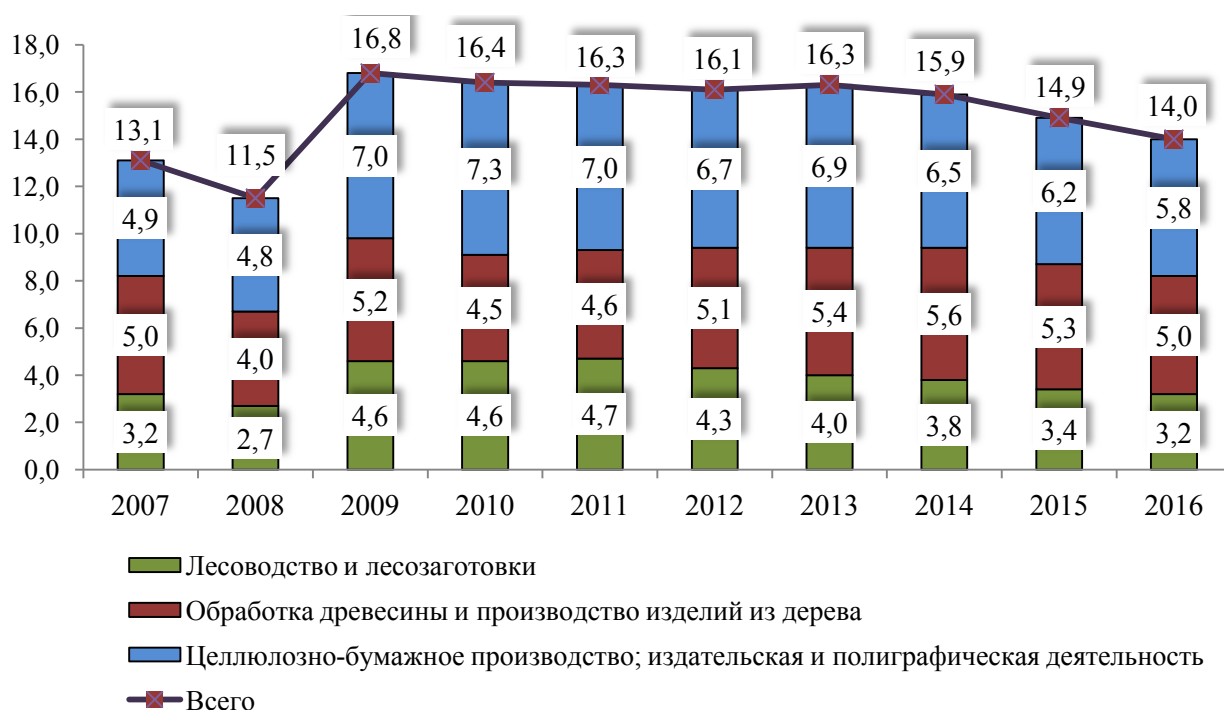


Рис. 1. Динамика среднесписочной численности работников предприятий лесного сектора экономики Республики Башкортостан по видам экономической деятельности в 2007-2016 годах, тыс. чел. [2]

В целом, по сравнению с 2009 годом среднесписочная численность работников лесного комплекса снизилась на 16,6%. Этому способствовала нестабильная экономическая ситуация

в стране и в отрасли, и, как следствие, стремление предприятий к оптимизации кадровой структуры с целью сокращения производственных расходов.

Текущая потребность в кадрах на предприятиях лесопромышленного комплекса обусловлена реализацией на территории Республики Башкортостан крупных инвестиционных проектов в области освоения лесов, расширением действующих производств, а также необходимостью восполнения естественной убыли работающих.

В лесном хозяйстве, производстве древесных плит, мебели, пеллет, а также в деревянном домостроении наиболее востребованы специалисты с профильным средним специальным образованием, на предприятиях целлюлозно-бумажного производства и лесохимии, в связи со сложным технологическим процессом, требуются работники с высшим профильным образованием.

С целью привлечения высококвалифицированных кадров, предприятия лесопромышленного комплекса Республики Башкортостан используют практику инвестиционного партнерства с профильными высшими и средне-специальными учебными заведениями. В частности, налажено сотрудничество с Мытищинским филиалом МГТУ им. Н.Э. Баумана (МГУЛ), Уральским государственным лесотехническим университетом, Башкирским государственным аграрным университетом, Уфимским лесхоз-техникумом, Уфимским профессиональным лицеем №64 и другими образовательными организациями.

В Республике Башкортостан для популяризации направлений и специальностей лесного профиля организованы и успешно развиваются школьные лесничества. В 2016 году действовало 49 школьных лесничеств в 27 муниципальных районах и городских округах с охватом учащихся 1250 человек. Юные лесоводы изучают природу родного края, принимают активное участие в выращивании и посадке лесных культур, оказывают посильную помощь взрослым в охране и благоустройстве леса.

Таким образом, у детей формируется особое отношение к лесу и интерес к будущей профессии, выбор которой становится осознанным. Учебно-методическое обеспечение и координацию деятельности школьных лесничеств осуществляет Федеральное агентство лесного хозяйства. Под его эгидой регулярно проходят Всероссийские съезды школьных лесничеств, заочный смотр-конкурс на звание «Лучшее школьное лесничество», проводятся Всероссийский юниорский лесной конкурс «Подрост» и Международный юниорский лесной конкурс.

Динамика показателей, характеризующих эффективность использования кадрового потенциала предприятий по виду деятельности «Лесоводство и лесозаготовки» в Республике Башкортостан, представлена в табл. 1.

Среднесписочная численность работников по виду экономической деятельности «Лесоводство и лесозаготовки» в 2016 году составила 3,2 тыс. человек, из них 1,6 тыс. человек в лесном хозяйстве и столько же на лесозаготовительных предприятиях.

Кадры имеют сбалансированную возрастную структуру и отличаются относительной стабильностью. 60% работающих находится в возрасте от 30 до 50 лет. Средний возраст работников лесного хозяйства составляет 45 лет. 40% работников лесного хозяйства имеет стаж работы в отрасли от 5 до 15 лет, коэффициент текучести кадров в лесном хозяйстве в 2016 году составил 15% [2].

В то же время использование кадрового потенциала нельзя признать эффективным, отвечающим современным стратегическим задачам по обеспечению экономической безопасности региона и государства.

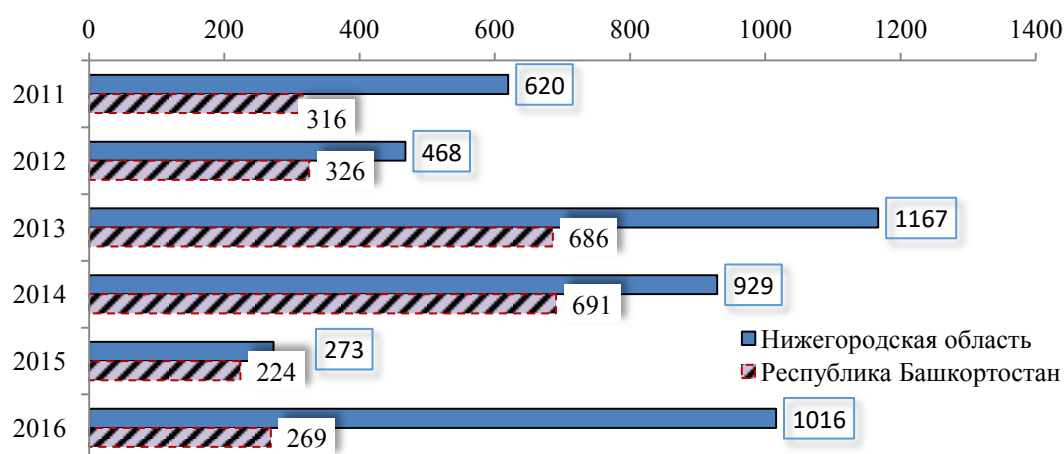
Комплексная выработка в лесозаготовительном производстве уменьшилась за последние десять лет на 2,8%, а по сравнению с 2015 годом – на 0,8%. Крайне низким остается уровень производительности труда работников по виду деятельности «Лесоводство и лесозаготовки» и в стоимостном выражении [3].

Таблица 1

Динамика показателей эффективности использования кадрового потенциала предприятий по виду деятельности «Лесоводство и лесозаготовки» Республики Башкортостан в 2009-2016 годах [2]

Показатели	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Среднесписочная численность работников, тыс. чел.	4,6	4,6	4,7	4,3	4,0	3,8	3,4	3,2
Производительность труда по виду деятельности «Лесозаготовки», м <sup>3</sup> /чел.	964	1223	1474	1377	1401	1953	2025	1873
Темп изменения производительности труда, %	104,4	126,9	120,5	93,4	101,7	139,4	103,7	92,5
Средняя заработная плата по экономике региона, руб./чел.	14987	16377	18427	20459	22440	24711	25835	27820
Реальная заработная плата, в процентах к предыдущему году	110,6	101,3	99,3	106,1	104,8	100,0	90,1	101,1
Номинально начисленная среднемесячная заработная плата по виду деятельности, руб./чел.	9707	10173	10810	13115	14441	16506	15980	16938
Темп изменения среднемесячной заработной платы, %	130,5	104,8	106,3	121,3	110,1	114,3	96,8	106,0
Отношение среднемесячной заработной платы по виду деятельности к средней заработной плате по экономике региона, %	64,8	62,1	58,7	64,1	64,4	66,8	61,9	60,9

По числу высокопроизводительных рабочих мест по виду деятельности «Лесоводство и лесозаготовки» Республика Башкортостан в 2016 году занимала четвертое место среди регионов Приволжского федерального округа. При этом отставание от лидера – Нижегородской области составило 77,5% (рис. 2).



Источник: [www.fedstat.ru](http://www.fedstat.ru)

Рис. 2. Динамика числа высокопроизводительных рабочих мест по виду деятельности «Лесоводство и лесозаготовки» в регионах Приволжского федерального округа в 2011-2016 годах, ед.

Следует отметить, что в России по количеству высокопроизводительных рабочих мест по виду деятельности «Лесоводство и лесозаготовки» Приволжский федеральный округ занимает лишь пятую строчку в рейтинге с числом высокопроизводительных рабочих мест 2623. Лидирует Дальневосточный федеральный округ – 8811 рабочих мест. На втором и третьем местах Северо-западный и Сибирский федеральные округа с числом высокопроизводительных рабочих мест 7762 и 6270 соответственно [6, 7].

В целом по лесопромышленному комплексу Республики Башкортостан уровень производительности труда не превышает 1 млн. руб. на человека, а число высокопроизводительных рабочих мест составляет менее 40% от общего их количества [5]. Невысокий уровень средней заработной платы в лесном комплексе Республики Башкортостан не способствует привлечению в отрасль высококвалифицированных кадров, усиливает дифференциацию населения по уровню доходов, что создаёт дополнительные угрозы экономической безопасности. Острой для региона остается также проблема закрепления молодых специалистов на предприятиях.

Обеспечение эффективности лесного комплекса Республики Башкортостан, его конкурентоспособности невозможно без создания экономических условий для разработки и внедрения современных технологий, инновационных разработок, научно-обоснованных подходов в управлении. Сведения о доле инновационно активных предприятий в общем числе организаций отрасли и удельном весе инновационных товаров в общем объеме отгруженной продукции по видам деятельности приведены в табл. 2.

Таблица 2

Динамика показателей, характеризующих инновационную активность предприятий лесного комплекса Республики Башкортостан в 2009-2016 годах [2]

Показатели	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Обработка древесины и производство изделий из дерева								
Доля инновационно активных предприятий в общем числе организаций, %	-	-	-	0,2	0,16	0,17	0,18	0,19
Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг, %	-	-	-	0,1	4,8	5,8	6,3	1,80
Целлюлозно-бумажное производство; издательская и полиграфическая деятельность								
Доля инновационно активных предприятий в общем числе организаций, %	3,00	3,50	0,10	0,12	0,12	0,13	0,13	0,15
Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг, %	0,07	0,5	0,2	0,1	0,1	0,02	0,01	0,03

В настоящее время деятельность предприятий лесного комплекса Республики Башкортостан характеризуется слабой инновационной активностью, что, безусловно, снижает уровень экономической безопасности региона. Доля инновационно активных предприятий лесного комплекса не превышает 0,2%, тогда как в среднем по добывающим и обрабатывающим производствам российской экономики это значение составляет 10-11%. Наибольшее отставание наблюдается по целлюлозно-бумажному производству, издательской и полиграфической деятельности: при среднероссийском значении удельного веса инновационной продукции 5,2%, в Башкортостане его величина составила лишь 0,03% в 2016 году [5].

Отмеченные тенденции во многом обусловлены низким уровнем кадрового потенциала лесного комплекса республики и его несоответствием задачам преодоления отставания от ведущих мировых держав в области повышения производительности труда, разработки и внедрения новых и перспективных технологий.

Резюмируя итоги анализа кадрового потенциала лесного комплекса Республики Башкортостан и его влияния на обеспечение экономической безопасности региона, следует отметить необходимость выработки комплекса мер по формированию эффективной системы научной и инновационной деятельности, ориентированной на дальнейшее развитие системы непрерывного образования, подготовки кадров и научно-технического обеспечения отрасли. Ключевыми направлениями такой деятельности должны стать:

- совершенствование инструментов государственно-частного партнерства в сфере лесного образования. Система подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров должна строиться на современных рыночных требованиях к количеству выпускников и уровню их подготовки, в том числе в области организации производства и использования в процессе управления лучших практик и методик, обеспечивающих повышение производительности труда. Это потребует активизации взаимодействия работодателей, служб занятости, образовательных учреждений и других участников рынка труда. При этом ориентиром должны быть конкретные потребности предприятий, которые наряду с профильными министерствами должны выступать в роли заказчиков.

- разработка комплексных предложений, направленных на повышение уровня заработной платы и социального обеспечения работников лесного в сочетании с мероприятиями по повышению эффективности их работы;

- увеличение объема финансирования целевых НИОКР, определяющих драйверы развития лесного комплекса республики, в особенности «прорывных» технологий и решений в сфере рационального учета и использования лесных ресурсов, глубокой переработки древесины, биотехнологий (биоэнергетики, биорефайнинга, биоинформатики, генетических исследований), иных перспективных товаров;

- аккумулирование финансовых ресурсов в научных проектах продолжительностью 3-5 лет, нацеленных на конкретный результат, выражающийся в виде получения новых материалов, создания новых технологий, логистических решений;

- создание на базе учебных и научных учреждений интегрированных научно-образовательных центров, осуществляющих адресное научное сопровождение лесопромышленных производств и подготовку отраслевых кадров.

Таким образом, интеграция научной и образовательной деятельности, интенсификация научно-исследовательских работ, реализация инновационных проектов должны обеспечить развитие лесной отрасли с учетом интересов и задач региона в области повышения конкурентоспособности национальной экономики и обеспечения экономической безопасности государства.

## Список литературы

1. Указ Президента РФ от 13 мая 2017 г. №208 «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года» // КонсультантПлюс: справ.-правов. система. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_216629/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_216629/) (дата обращения 23.03.2018 г.).

2. Основные показатели экономики Республики Башкортостан: Статистический бюллетень, №12 (январь–декабрь). Уфа: Башкортостанстат, 2008-2017 гг. – 35 с.

3. Паспорт приоритетной программы «Повышение производительности труда и поддержка занятости». Утвержден президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и приоритетным проектам (протокол от 30 августа 2017 г. № 9) // Гарант: справ.-правов. система. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71677746> // (дата обращения 24.03.2018 г.).

4. Антощенко Д.А., Тарасюк Н. С., Долженко Л.М. Проблемы экономической безопасности России [Текст] / Молодежь Сибири - науке России. Сб. материалов международной научно- практической конф. (14-15 апреля 2009), часть 1- Красноярск,: СИБУП, Цилинский институт русского языка (КНР), 2009. С. 14-21.

5. Развитие методологии структурно-отраслевой и экономико-технологической организации лесного сектора экономики (на примере лесного сектора Республики Башкортостан): моногр. / под общ. ред. А.В. Мехренцева. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2018. – 309 с.

6. Управление лесопромышленным бизнесом на основе стратегического планирования освоения лесных ресурсов региона (на примере стратегии развития лесопромышленного комплекса ООО «Алмас» Республики Саха (Якутия). Монография / А.В. Мехренцев и др.; под общ. ред. А.В. Мехренцева; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО «Уральский гос. лесотехнический ун-т». – Екатеринбург: Уральский гос. лесотехнический ун-т, 2016. – 255 с.

7. Основы финансового контроля и государственного регулирования: отраслевой и региональный аспект. Коллективная монография / Под редакцией Гнездовой Ю.В, Матвеевой Е.Е. ФГБОУ ВО «СмолГУ» – М.: Издательство «Научный консультант», 2017. – 330 с.

---

УДК 712.6

## КОНСТРУКЦИЯ КРОВЕЛЬ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ОБЪЕКТОВ ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО УРАЛА

Агафонова Галина Виленовна,

канд. с.-х. наук, доцент,

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,

г. Екатеринбург, E-mail: [galvilag@mail.ru](mailto:galvilag@mail.ru)

Баранов Дмитрий Сергеевич,

студент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,

г. Екатеринбург, E-mail: [dima.b-v@yandex.ru](mailto:dima.b-v@yandex.ru)

**Ключевые слова:** насаждения на кровле, зелёные крыши, технология создания насаждения на крыше, конструкции кровель, объекты на крышах.

**Аннотация.** Создание различных насаждений на эксплуатируемых кровлях необходимо в современных городских условиях и промышленных зонах. Для их создания необходимо учитывать специфические конструктивные требования.

## DESIGN ROOFS FOR THE DEVICE OBJECTS LANDSCAPE ARCHITECTURE IN THE CONDITIONS OF THE MIDDLE URALS

Agafonova Galina Vilenovna,

Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor,

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [galvilag@mail.ru](mailto:galvilag@mail.ru)

Baranov Dmitry Sergeevich,

student, Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg,

E-mail: [dima.b-v@yandex.ru](mailto:dima.b-v@yandex.ru)

**Key words:** plantings on the roof, green roofs, the technology of creating spaces on the roof, the design of roofs and objects on roofs.



**Abstract.** *The establishment of various plantations on existing roofs needs in modern urban environments and industrial areas. For their creation it is necessary to take into account specific design requirements.*

В настоящее время прослеживается тенденция к увеличению точечной застройки в крупных промышленных городах, где начинают доминировать высотные здания. Сокращаются площади под зелёными насаждениями, что негативно влияет на окружающую среду.

Одним из выходов из этой ситуации является создание насаждений на кровлях зданий. Насаждения на кровлях необходимы также при возведении зданий любого характера застройки городской территории, а также промышленных зон. Они защищают здания от перегрева в летний период, а зимой и в межсезонье сокращают отток тепла из внутренних помещений. К тому же благоустроенные и озеленённые кровли могут оказывать положительное эстетическое воздействие на человека.

На кровлях сооружают объекты двух типов: экстенсивные и интенсивные. Объекты экстенсивного типа представляют собой насаждения, закрытые для посещения и представляют собой сплошной газон или простую композицию, вид на которую открывается за пределами данного насаждения. Насаждения интенсивного типа – объекты, открытые для посещения. Чаще всего они представляют собой сады разных размеров и разной композиционной сложности. Ярким примером насаждения интенсивного типа на кровле в городе Екатеринбурге является дворовая территория КД «Тихвин» (рис. 1) [1].

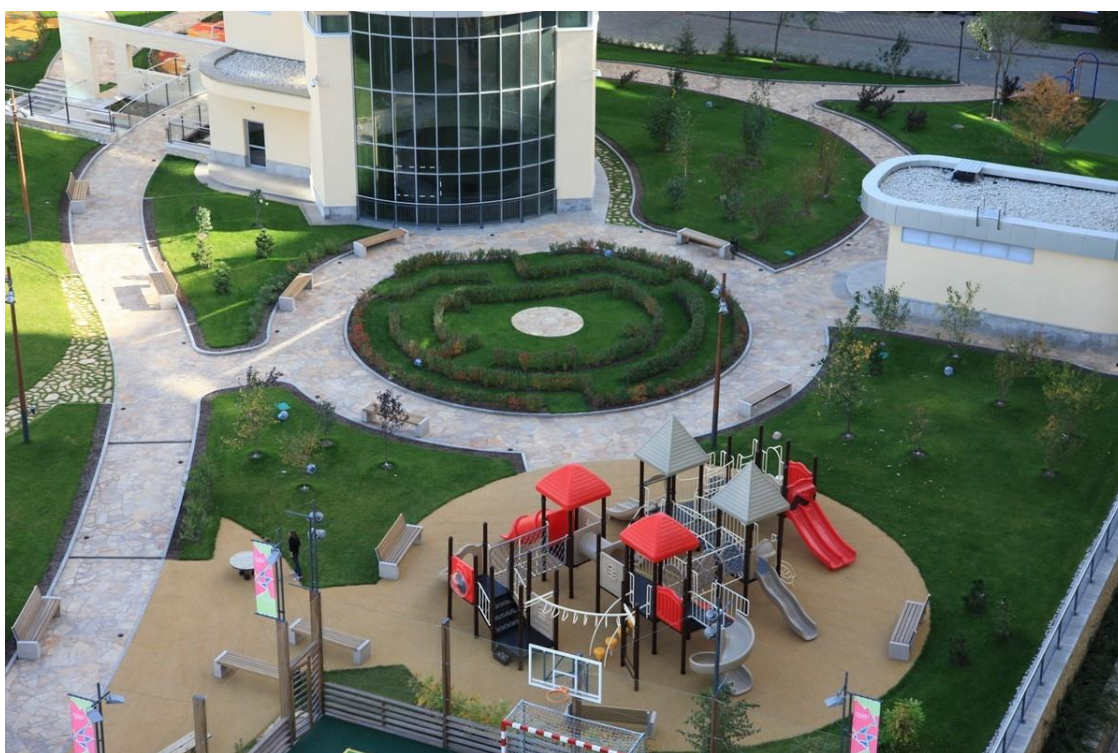


Рис. 1. Сад на эксплуатируемой кровле во дворе КД «Тихвин»

Создание подобных объектов является сложным процессом. Насаждения оказывают дополнительную нагрузку на саму крышу и несущие элементы зданий, существует определённая угроза протекания влаги внутрь здания. Чтобы повысить долговечность зданий и «зелёных крыш», необходимо создать водопрочное сооружение на кровле здания, устроить необходимый уклон на кровле, рассчитать соответствующую высаживаемым растениям мощность плодородного грунта и рассчитать нагрузку, которую возводимое сооружение будет оказывать на несущие элементы здания.



При создании «зелёной крыши» большое значение имеет уклон кровли. Для экстенсивного типа он допустим до  $45^\circ$ . В случаях, когда уклон кровли составляет от  $3^\circ$  до  $45^\circ$ , необходимо использовать специальные решетки или специальный перфорированный металлический профиль, которые препятствуют сползанию растительного слоя [2], пример такой решётки представлен на рисунке 1 [3]. Для создания озеленённых крыш интенсивного типа уклон должен составлять не более  $3^\circ$  [4], поскольку необходимо одновременно обеспечить отвод излишков влаги с кровли и создать наиболее комфортные условия для посетителей.



Рис. 1. Решётка, предотвращающая сползание грунта на скате

Независимо от характера эксплуатируемой кровли (экстенсивная или интенсивная) для избегания протекания влаги в здание и обеспечения растений пригодным для их жизни водным режимом между поверхностью кровли и плодородным грунтом необходимо соорудить гидроизоляционное устройство, состоящее из нескольких слоёв. Послойная схема кровли представлена на рис.2 [5].

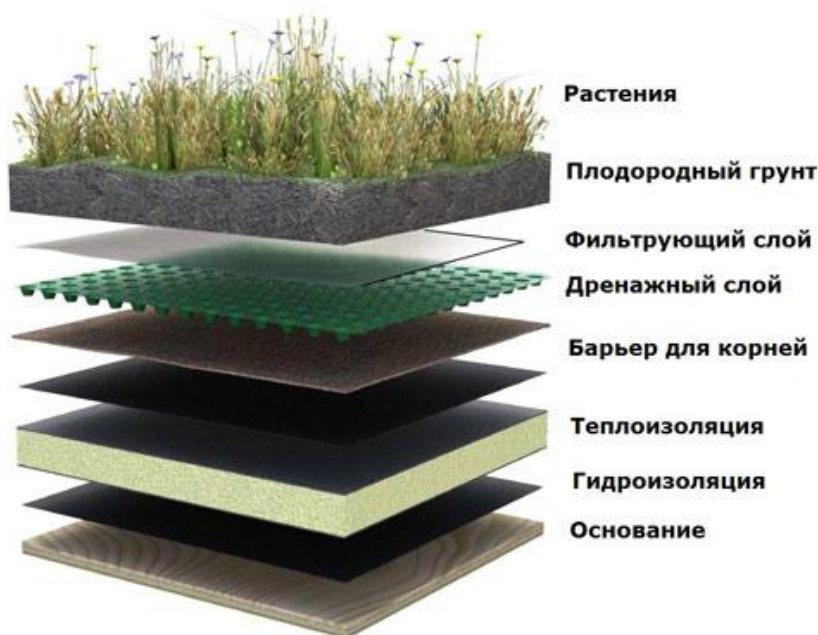


Рис. 2. Схема устройства озеленённой кровли

*Первый слой* от основания кровли – гидроизоляционный. Он может состоять из ПВХ-мембраны, ЭПДМ-мембраны, резиновых матов или битума.

*Второй слой* – корнеудерживающий. Он применяется для защиты гидроизоляции от корней растений. Для этого можно использовать высокоплотные мембраны из прессованного полиэтилена.

*Третий слой* – теплоизоляция. В качестве теплоизоляционного элемента можно использовать пробковые плиты, пеностекло, вспененный полиуретан, экструдированный полистирол.

*Четвёртый* – дренаж. Он предназначен для отвода излишков влаги из плодородного грунта. Он может сооружаться из керамзитового гравия, перлитового кокса, колотой пемзы.

*Пятый* – фильтр. Его задача – предотвращать заиливание конструкции. В качестве фильтра может выступать геотекстиль, пропускающий влагу и корни растений.

*Шестым слоем* выступает плодородный грунт. На рис. 3 [6] представлено три варианта мощности данного слоя в зависимости от типов растений, которые будут посажены на кровле.

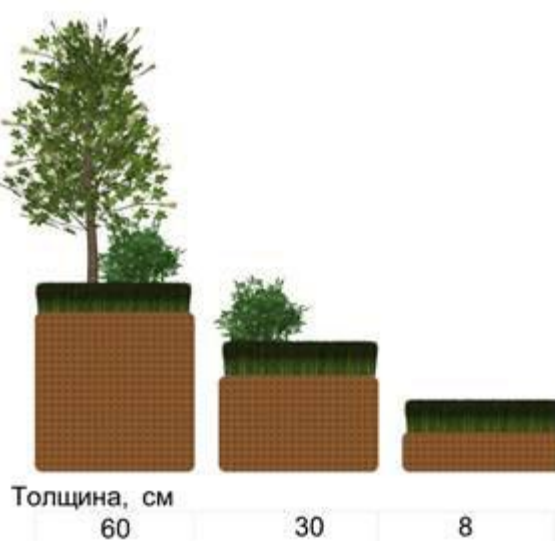


Рис. 3. Мощность плодородного слоя

Большое внимание следует уделить расчету нагрузок, которые кровля оказывает на здание, чтобы избежать обрушений. Согласно СНиП 2.01.07-85 все нагрузки, оказываемые на здание, делятся на постоянные, долговременные, кратковременные и особые [7].

К постоянным нагрузкам относятся: горное давление и элементы здания, в случае эксплуатируемой кровли – перекрытие, водоудерживающие слои, грунт и произрастающие растения. К длительным нагрузкам относятся: вес влаги, нагрузки, возникающие при наличии посетителей, вес снега. Кратковременные нагрузки – вес работников и оборудования при проведении ремонтных работ. Особыми являются нагрузки от взрывов, землетрясений и нагрузки, возникающие при поломках [7].

Для крыш экстенсивного типа характерны нагрузки конструктивных элементов сооружения «зелёной крыши», горное давление, снеговые и водные нагрузки и нагрузки, возникающие во время ремонтных работ (рабочие и оборудование). Крыши интенсивного типа испытывают те же самые нагрузки и дополнительно ещё воспринимают нагрузки от посетителей.

При возведении насаждений на кровле большое внимание следует уделять массе плодородного грунта. На рис.2 видно, что под разными типами насаждений требуется грунт различной мощности, таким образом, грунт под разными типами насаждений будет иметь различный вес. Из приведённой табл.1 можно рассчитать вес различных типов субстратов под различными насаждениями.

Таблица 1

Плотность и удельный объем компонентов тепличных субстратов, минеральных и органических удобрений

Компонент тепличного субстрата	Плотность, т/м <sup>3</sup>	Удельный объём, м <sup>3</sup> /т	Компонент тепличного субстрата	Плотность, т/м <sup>3</sup>	Удельный объём, м <sup>3</sup> /т
Дерновая суглинистая земля	0,67...0,83	1,2...1,5	Минеральная вата	10,0	0,08...0,1
Полевая земля	0,83	1,2	Суперфосфат простой	0,9	1,1
Песок	0,5...0,6	2...1,7	Суперфосфат двойной	1	1
Навоз (уплотнённый)	1,25	0,8	Сульфат аммония	1,2	0,8
Опил	5,0...6,0	0,2...0,17	Аммиачная селитра	1,2	0,8
Лист древесный	3,5...5,0	0,28...0,2	Сернокислый калий	0,8	1,3
Перегной	1,2...1,25	0,8	Фосфоритная мука	0,6	1,7
Торф низинный полуразложившийся	2,2...3,0	0,45...0,33	Преципитат	1,2	0,8
Торф разложившийся	1,2...1,25	0,85...0,80	Натриевая селитра	0,7...0,9	1,4...1,1
Торф верховой	3,3...4,0	0,3...0,25	Хлористый калий	1,1	0,95
Кора древесная	2,5...3,0	0,4...0,33	Известь молотая	0,5	1,7
Солома	3,0...3,5	0,33...0,28	Доломитовая мука	0,7	1,5
Перлит	8...10	0,1...0,12	Гипс	1,3	0,75
Цеолит	1,1...1,25	0,8...0,9	Навозная жижа	1	1
Вермикулит	7...10	0,1...0,15	Помет птичий	3,3	0,3

Расчёт массы грунта приведён для дерново-суглинистого и полевого почвогрунтов, как наиболее часто используемых. Их расчёт производился по следующей формуле  $m = \rho V$ , где  $m$  – искомая масса, т;  $\rho$  – плотность, т/м<sup>3</sup>;  $V$  – объём, м<sup>3</sup>. Результаты расчётов масс почвенных грунтов под различными типами насаждений представлены табл. 2.

Таблица 2

Вес различных типов субстратов под различными типами насаждений, т

Тип субстрата	Под газонами и травянистыми растениями, 8см	Под кустарниками, 30см	Под древесными породами, 60см
Дерновая суглинистая земля	0,05...0,07	0,20...0,25	0,40...0,50
Полевая земля	0,07	0,25	0,50

Из произведённых расчётов можно заметить, что масса грунта может достигать 0,5 т без учёта полива, т.е. грунт может оказывать большие нагрузки на основание кровли и несущие элементы здания. Чтобы снизить нагрузки в почву рекомендуется вносить компоненты, имеющие большую порозность – вермикулит, цеолит, торф, керамзит.

Суммируя вышесказанное, следует отметить, что, несмотря на определенные сложности создания насаждений на эксплуатируемых кровлях, связанные с условиями произрастания растений на кровлях, их сооружение возможно при соблюдении технологических приёмов, описанных выше.

### Список литературы

1. Сад на крыше клубного дома «Тихвин» в Екатеринбурге [Электронный ресурс] // Архи.ру – Режим доступа : [https://archi.ru/russia/image\\_large.html?id=120202](https://archi.ru/russia/image_large.html?id=120202). (дата обращения: 12.03.2018).
2. Беликова, Т. Н. зеленые крыши или «Сады Семирамиды»/ Т. Н. Беликова //Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона: научно-практический журнал Коломенского института (филиала) МГМУ (МАМИ) – 2014.- №2. – С.18-29.
3. Степин, Д. Чем небезопасны склоны на строительном участке [Электронный ресурс] / Д. Степин // Протерм – 2018 – Режим доступа: <https://www.proterem.ru/dachnyj-uchastok/sposoby-ukreplenija-sklonov.html> (дата обращения : 9.03.2018).
4. Организация поверхностного стока осадков с дорожек и площадок [Электронный ресурс] // Ландшафтная архитектура и зеленое строительство – Режим доступа: [http://landscape.totalarch.com/organization\\_surface\\_run-off\\_precipitation](http://landscape.totalarch.com/organization_surface_run-off_precipitation) (дата обращения : 9.03.2018).
5. Новый эко-тренд в ландшафтном дизайне – озеленение крыш жилых зданий и хозяйственных построек [Электронный ресурс] // Ландшафтный дизайн участка своими руками – Режим доступа: <http://101dizain.ru/idea/ozelenenie-krysh.html> (дата обращения : 9.03.2018).
6. Иоффе, А.О. Технология создания зеленых крыш в условиях севера России [Электронный ресурс] // Химия и биология : электрон. научн. журн. – 2016. – № 10(28) – Режим доступа: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/3666> (дата обращения : 9.03.2018).
7. СНиП 2.01.07-85\* Нагрузки и воздействия (с Изменениями N 1, 2).





**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования**

**УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(УГЛТУ)**

620100 Россия г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37  
тел. (343) 254-65-06, [www.usfeu.ru](http://www.usfeu.ru)

---

**Научные и образовательные проекты УГЛТУ для ЦБП**

- исследование бумагообразующих свойств вторичных целлюлозных волокон и особенностей предварительной подготовки макулатурной массы (ропуск, очистка (в том числе очистка от типографской краски), сортирование, размол).
- совершенствование технической эксплуатации бумагоделательного оборудования на основе виброконтроля, вибродиагностики и анализа технического состояния;
- прогнозирование технического состояния узлов бумагоделательных машин при модернизации и увеличении их скорости;
- научно-образовательный проект «Высококвалифицированные инженерные кадры для ЦБП» (совместно с предприятиями отрасли).



<http://www.unikom-service.ru>

Научно-производственное предприятие «Уником-Сервис» производит изделия из полиуретана, применяя все технологии переработки: свободное литье в форму, термопластичное литье под давлением, ротационное литье, изготовление методом точения, напыление эластомерных покрытий.

---

**Научно-производственное  
объединение  
«Диагностические технологии»**

<http://www.diatechnic.ru>

---



## Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет»**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет является многопрофильным высшим учебным заведением с высоким кадровым потенциалом и современной материально-технической базой, обеспечивающим качественную подготовку кадров по широкому спектру естественно-научных, технических, технологических, экономико-управленческих, социальных и гуманитарных направлений и специальностей для предприятий и организаций Западного Урала и России. Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» был создан в 1953 году Приказом Министерства культуры СССР от 18 июля 1953 г. №1275 как Молотовский горный институт. В ПНИПУ обучается более 20 000 студентов, более 700 аспирантов и докторантов. Ежегодно университет выпускает свыше 4 500 специалистов с высшим образованием. За 60 лет университет подготовил более 130 000 специалистов с высшим образованием, которые в настоящее время являются признанными лидерами многих предприятий и организаций. Ежегодно от 10% до 12% поступивших учатся по заказу оборонно-промышленного комплекса и региональному заказу. Пермский Политех осуществляет подготовку на 9 факультетах и 51 кафедре.





ГРУППА  
ПРЕДПРИЯТИЙ  
**ПЦБК**

г. Пермь,  
ул. Бумажников, 1  
+7 (342) 235-75-45  
[pcbк@pcbк.ru](mailto:pcbк@pcbк.ru)

**1959** год  
ОСНОВАНИЯ  
КОМПАНИИ



**2 500**  
сотрудников



стань  
профессионалом  
в команде ПЦБК

## Преимущества работы на ПЦБК:



Экспертная помощь  
в написании научных работ



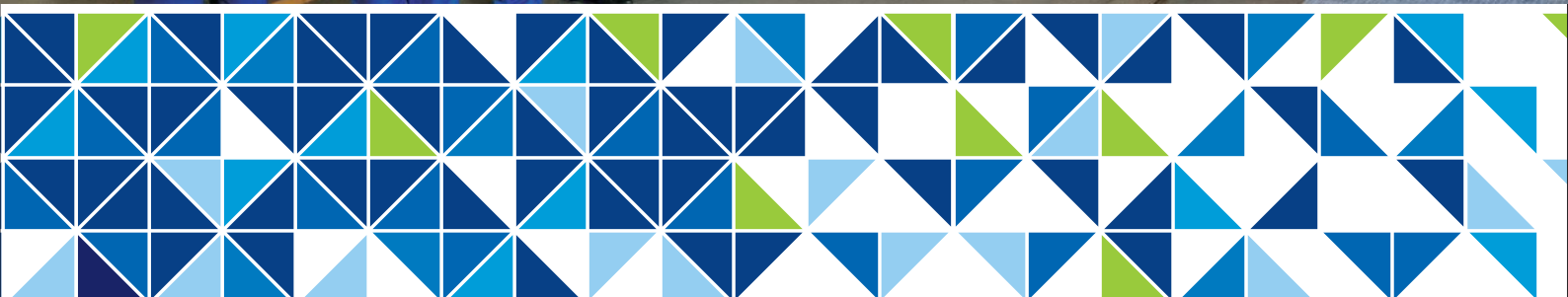
Оплачиваемая практика



Совмещение учебы и  
работы (гибкий график  
для студентов 3-4 курсов)



Участие в корпоративной  
жизни компании и  
Союзе активной молодежи





📍 Россия, 618548,  
Пермский край, г. Соликамск,  
ул. Коммунистическая, 21

☎ 8 (34253) 6-46-63

☎ 8 (34253) 4-81-30

🌐 [www.solbum.ru](http://www.solbum.ru)



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«СОЛИКАМСКБУМПРОМ»

## Работа в АО «Соликамскбумпром» - это

Работа в компании российского масштаба

Профессиональный карьерный рост

Обучение и развитие на протяжении всей  
трудовой деятельности

Высокий уровень охраны труда

Достойная заработная плата  
и социальный пакет

**Мечтаешь работать  
в АО «Соликамскбумпром»?  
Приходи к нам!**

Группа по обучению и развитию персонала  
отдела кадров

АО «Соликамскбумпром»

г. Соликамск, ул. Коммунистическая, 21

(тел. 6-45-72, 6-45-30

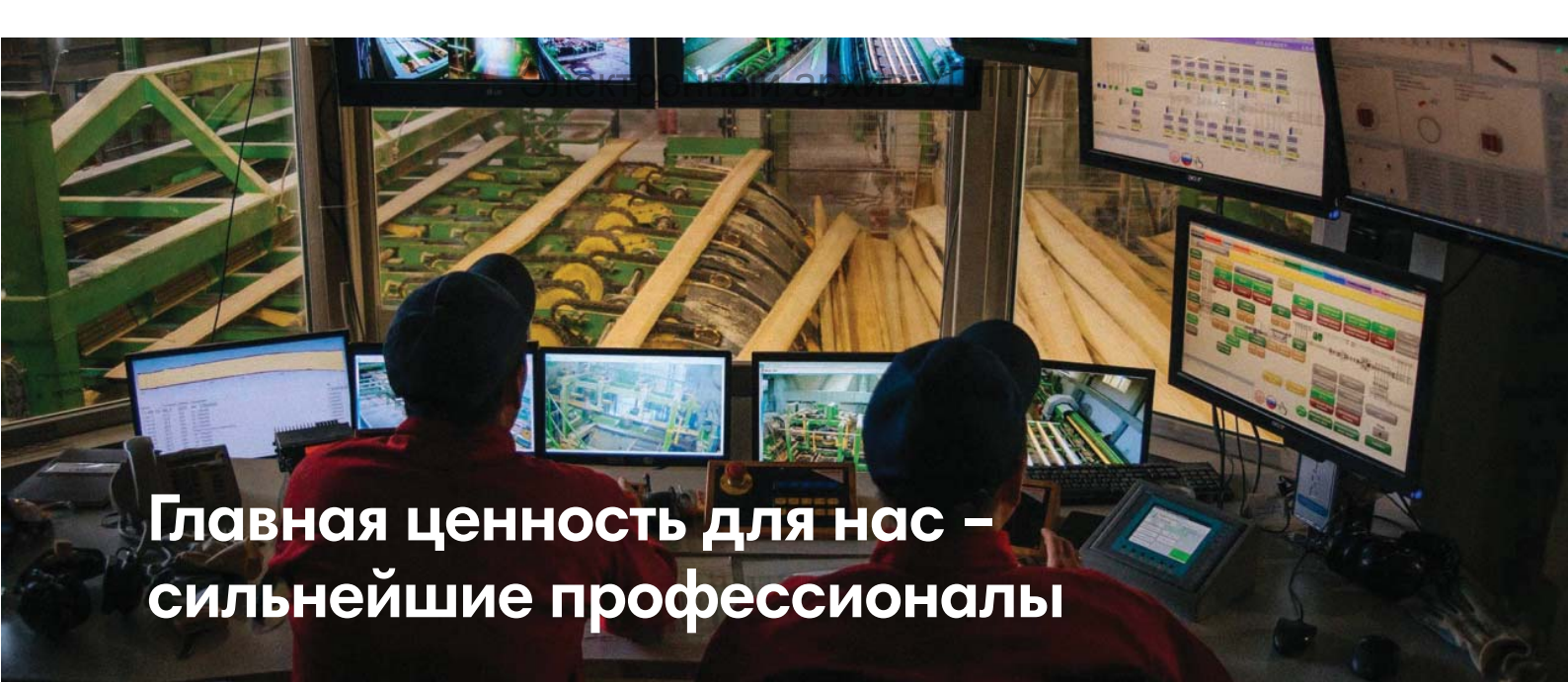
адрес электронной почты

[alexandra.grebeshkova@solbum.ru](mailto:alexandra.grebeshkova@solbum.ru) )

**Работать в**

**АО «Соликамскбумпром» - это круто!**





## Главная ценность для нас – сильнейшие профессионалы

«Красный Октябрь» – ведущее лесопильное предприятие Пермского края, расположенное в городе Перми.

Предприятие располагает собственной лесозаготовительной и дорожно-строительной техникой, парком лесовозных машин, технологическим транспортом. На территории предприятия работают цех по подготовке и производству режущего инструмента, ремонтно-механический цех, электромастерская со стендом КИПиА, современный лесопильный цех; биотопливная котельная и цех сушки пиломатериалов. Управление всеми производственными процессами, финансово-экономической деятельностью, закупками и продажами ведётся непосредственно на заводе в г. Перми.

**>10 000 м<sup>3</sup>**

пиломатериалов  
производим ежемесячно

**> 30 стран**

импортируют нашу  
продукцию

- возможность производственной практики
- уверенность в завтрашнем дне
- официальное трудоустройство
- социальную поддержку
- достойную заработную плату
- удобное расположение

Отдел персонала  
ГК «Красный Октябрь»  
г. Пермь, ул. 9 Января, 16  
(342) 256-40-50,  
[personnel@ro1910.ru](mailto:personnel@ro1910.ru)  
[facebook.com/ro1910](https://facebook.com/ro1910)  
[www.ro1910.ru](http://www.ro1910.ru)

**Красный  
Октябрь**

Типография ООО «Издательство УМЦ УПИ»  
620062, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2  
Тел. (343) 362-91-16  
e-mail: [3629116@mail.ru](mailto:3629116@mail.ru)